

150



RIITTA NIINIOJA

## LIETELANNAN LEVITYS JA RAVINTEIDEN HUUHTOUTUMINEN

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS  
POHJOIS-KARJALAN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI  
Helsinki 1993





**150**

RIITTA NIINIOJA

## **LIETELANNAN LEVITYS JA RAVINTEIDEN HUUHTOUTUMINEN**

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS  
POHJOIS-KARJALAN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI  
Helsinki 1993

Etukannen kuvat: Liperin koekenttä syksyllä (iso kuva). Lietelannan levitystä lumelle (pieni kuva).

Kuvat: Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:

Painatuskeskus Oy, PL 516, 00101 Helsinki  
puh. (90) 56 601/julkaisutilaukset

ISBN 951-47-7563-5  
ISSN 0786-9592

HELSINKI 1993



Julkaisija  
Vesi- ja ympäristöhallitus ja  
Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri

Julkaisun päivämäärä  
Maaliskuu 1993

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)  
Riitta Niinioja

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)  
Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen  
(Spridning av flytgödsel och urlakning av näringsämnen)

Julkaisun laji	Toimeksiantaja	Toimielimen asettamispvm
Tutkimusraportti	Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri	

Julkaisun osat

#### Tiivistelmä

Eri vuodenaikoina savimaalle levitetyn naudan lietelannan aiheuttamaa ravinteiden huuhtoutumista salaojavesiin tutkittiin Liperissä sijaitsevalla huuhtoutumiskoe kentällä. Vertailuna oli väkilannoitus. Viljelykasvina oli ohra. Vertailujaksolla ja seurantajaksolla koekenttä oli nurmella.

Lietelantaa levitettiin  $50 - 53 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Kertalevityksessä peltoon tuli keskimäärin kokonaistyyppä  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , liukoista tyyppä  $72 \text{ kg ha}^{-1}$  ja kokonaisfosforia  $17 \text{ kg ha}^{-1}$ . Väkilannoituksessa levitetyt ravinnemäärät olivat tyyppä  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ , ja fosforia  $35 \text{ kg ha}^{-1}$ . Lietelannan levitysaikoja oli kolme: syksy ennen kyntöä, kevättalvi ja kevät ennen kylvöä. Kukin lannoitus tehtiin kolmasti samalle neljän ruudun saralle syksyn 1984 ja kevään 1987 välisenä aikana. Lietelannan syksyiseen levitykseen varatut ruudut saivat ylimääräisen lietelanta-annoksen kevättalvella 1986.

Lietelannan levitys talvella aiheutti vuosien 1984 - 1987 keskiarvona kaikista lannoituskäsittelyistä suurimmat kokonaisfosforin ( $1,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) ja fosfaattifosforin ( $0,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) sekä ammoniumtyypen huuhtoutumat ( $4,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Syksyinen lietelannan levitys aiheutti suurimmat kokonaistypen ( $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) ja nitraattityypen huuhtoutumat ( $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Vuosien 1986 - 87 keskiarvona liukoista fosfaattifosforia huuhtoutui eniten syyslevityksestä ( $0,52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Lietelannan syyslevitysrutujen huuhtoutumia nosti ko. rutujen ylimääräinen lietelannoitus talvella 1986. Pienimmät ravinnehuuhtoutumat aiheutti keväinen lietelannan levitys: kokonaisfosforin huuhtoutuma oli  $0,62 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja kokonaistypen  $13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Keväisen lietelannan levityksen ja vertailukäsittelyn aiheuttamat fosforihuuhoutumat olivat jokseenkin yhtä suuret.

Tutkimustulokset osoittavat, että vesiensuojelun kannalta lietelannan syyslevitykseen on syytä suhtautua varauksellisesti. Siitä saattaa aiheutua huomattavaa sekä typen että fosforin huuhtoutumista. Saman peltolohkon lietelannoitusta syksyllä ja seuraavana talvena ei tulisi tehdä suurten ravinnehuuhtoutumien takia. Talvilevityksestä on aiheellista kokonaan luopua suurten ravinnehuuhtoutumien vuoksi.

#### Asiasanat (avainsanat)

Lietelanta, huuhtoutuminen, lannoituskokeet, fosfori, typi, vesiensuojelu, salaojat

#### Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero	ISBN	ISSN
Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 150	951-47-7563-5	0786-9592
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta
87	Suomi	Luottamuksellisuus
		Julkinen
Jakaja	Kustantaja	
Painatuskeskus Oy	Vesi- ja ympäristöhallitus	
PL 516, 00101 Helsinki	PL 250, 00101 Helsinki	

## PRESENTATIONSBLAD

## Utgivare

Vatten- och miljöstyrelsen och  
Norra Karelen vatten- och miljödistrikt

## Utgivningsdatum

Mars 1993

## Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)

Riitta Niinioja

## Publikation (även den finska titeln)

Spridning av flytgödsel och urlakning av näringsämnen  
(Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen)

## Typ av publikation

Forskningsrapport

## Uppdragsgivare

Norra Karelen vatten- och miljödistrikt

## Datum för tillsättandet av organet

## Publikationens delar

## Referat

Urlakningen av näringsämnen in i täckdiken ur flytgödsel som har spridits vid olika tidpunkter undersöktes genom fältförsök på plan lerjord i Libelits i Norra Karelen. Som referens användes konstgödsling och som odlingsväxt korn. Under kalibreringstiden och efter försökstiden odlades vall. Mängden flytgödsel var 50–53 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Denna mängd innehöll i medeltal 120 kg ha<sup>-1</sup> totalkväve, av vilket 72 kg ha<sup>-1</sup> var i löslig form och 17 kg ha<sup>-1</sup> totalfosfor. Konstgödselns näringsmängder var 80 kg ha<sup>-1</sup> kväve och 35 kg ha<sup>-1</sup> fosfor. Flytgödseln spreds vid tre olika tidpunkter: på hösten före plöjning, på vårvintern ovanpå snön och på våren före sådden. Varje gödsling gjordes tre gånger på samma fyra rutors fält från hösten 1984 till våren 1987. Det för höstspridningen reserverade fältet fick en extra dos flytgödsel vårvintern 1986.

Spridningen av flytgödsel på vintern under åren 1984–1987 förorsakade de i medeltal största urlakningsmängderna av totalfosfor (1,4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) och fosfatfosfor (0,91 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) samt av ammoniumkväve (4,2 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Flytgödselspridningen på hösten förorsakade de största utlakade mängderna urlakat totalkväve (21 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) och nitratkväve (12 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Höstspridningen förorsakade den största urlakningen av fosfatfosfor under åren 1986–1987 (0,52 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Urlakningen från provrutorna för höstspridning ökade pga den extra flytgödslingen vintern 1986. De minsta urlakningsmängderna observerades från vårspridningen: urlakningen av totalfosfor var 0,62 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> och av totalkväve 13 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Fosforurlakningen från vårspridningen och referensgödslingen var ungefär lika stora.

Resultaten visar att det ur vattenskyddssynpunkt finns vägande skäl att vara ytterst försiktig med spridningen av flytgödsel på hösten. Den kan förorsaka betydande urlakning av fosfor och kväve. Flytgödsling på samma åker både på hösten och följande vintern borde undvikas. Spridning av flytgödsel på vintern bör upphöra helt pga den stora urlakningen av näringsämnen.

## Sakord (nyckelord)

Flytgödsel, urlakning, gödslingsförsök, fosfor, kväve, vattenskydd, täckdiken

## Övriga uppgifter

## Seriens namn och nummer

Vatten- och miljöförvaltningens publikationer –  
serie A 150

## ISBN

951-47-7563-5

## ISSN

0786-9592

## Sidantal

87

## Språk

Finska

## Pris

## Sekretessgrad

Offentlig

## Distribution

Tryckericentralen Ab  
PB 516, 00101 Helsingfors, Finland

## Förlag

Vatten- och miljöstyrelsen  
PB 250, 00101 Helsingfors, Finland



*Published by*  
National Board of Waters and the Environment  
North Karelia Water and Environment District

*Date of publication*  
March 1993

*Author(s)*  
Riitta Niinioja

*Title of publication*  
Leaching of nutrients from land application of slurry

<i>Type of publication</i> Research report	<i>Commissioned by</i> North Karelia Water and Environment District
---	--

*Parts of publication*

*Abstract*

Cow slurry (three different seasons of application) and mineral fertilizer as control were applied on a clay soil test field three times during the years 1984 – 1987. The study was conducted at Liperi test field, North Karelia. Barley was sown on the field. During calibration period and after the study period grass was grown on the field. Total phosphorus, phosphate phosphorus, soluble phosphate phosphorus, total nitrogen, nitrate nitrogen, and ammonium nitrogen were analysed from subsurface water samples.

The amount of applied slurry was 50 – 53 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The added nutrient amounts as average were: total nitrogen 120 kg ha<sup>-1</sup>, soluble nitrogen 72 kg ha<sup>-1</sup> and total phosphorus 17 kg ha<sup>-1</sup>. Added amounts of nutrients from mineral fertilizer were nitrogen 80 kg ha<sup>-1</sup> and phosphorus 35 kg ha<sup>-1</sup>. The application times were: autumn before ploughing, winter on snow and spring before sowing. Each application was made three times on the same field area from autumn 1984 to spring 1987. The area reserved to autumn application got an extra dose of slurry in winter 1986.

The winter application of slurry caused the highest subsurface leaching figures as average during 1984 – 1987 both total phosphorus (1.4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) and phosphate phosphorus (0.91 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) and ammonium nitrogen (4.2 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). The autumn application revealed the highest leaching figures of total nitrogen (21 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) and nitrate nitrogen (12 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). As an average during 1986 – 87, autumn application revealed the highest leaching figures of soluble phosphate phosphorus (0.52 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). The autumn application leaching figures were high due to the extra slurry application in winter 1986. The lowest leaching values appeared from the spring application of slurry (total phosphorus 0.62 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> and total nitrogen 13 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

It is suggested that the spring time application of slurry is the best choice as regards to water protection; even when compared with the control treatment (mineral fertilizer). However, one must keep in mind that the leaching losses of nutrients are highly dependent on climate, soil properties, and the crop, too.

*Keywords*

Slurry, leaching, fertilization tests, phosphorus, nitrogen, water protection, subsurface drain

*Other information*

<i>Series (key title and no.)</i> Publications of the Water and Environment Administration – series A 150	<i>ISBN</i> 951-47-7563-5	<i>ISSN</i> 0786-9592
<i>Pages</i> 87	<i>Language</i> Finnish	<i>Price</i>  <i>Confidentiality</i> Public
<i>Distributed by</i> Painatuskeskus Oy P.O.BOX 516, SF-00101 Helsinki, Finland	<i>Publisher</i> National Board of Waters and the Environment P.O.BOX 250, SF-00101 Helsinki, Finland	

## ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiirissä Liperin huuhtoutumiskoekentällä yhteistyössä seuraavien tahojen kanssa: vesi- ja ympäristöhallituksen teknillinen tutkimustoimisto, Maatalouden tutkimuskeskuksen Jokioisten ja Karjalan tutkimusasemat sekä Siikasalmen maatalousoppilaitos. Kiitokseni kaikille yhteistyötahoille, erityisesti Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiirin henkilöstölle.

Professori Pertti Elorannalle parhaimmat kiitokseni työni ohjauksesta ja arvokkaista huomautuksista käsikirjoitukseen. MML Marketta Ahtiaiselle lämpimät kiitokseni kannustuksesta työni eri vaiheissa kuten myös MMT Lea Kaupille arvokkaista ohjeista käsikirjoitusvaiheessa. Kiitokset dosentti Pertti Seunalle hyödyllisistä ohjeista käsikirjoitukseen, MMK Seppo Rekolaiselle asiantuntevista neuvoista. Tutkimusaineiston atk-käsittelyssä DI Markku Liponkosken asiantuntemus oli suureksi avuksi, mistä kiitokseni.

Kiitokseni tutkimusaineiston käsittelyn rahoittaneelle Suomen Akatemian ympäristötieteelliselle toimikunnalle sekä dosentti Pertti Huttuselle ja Karjalan tutkimuslaitoksen ekologian osaston henkilökunnalle.

Joensuussa maaliskuussa 1993

Riitta Niinioja



# SISÄLLYS

ALKUSANAT .....	6
1 JOHDANTO .....	9
2 AINEISTO JA MENETELMÄT .....	12
3 TUTKIMUSJAKSON SÄÄLOLOT .....	18
3.1 Sadanta ja lämpötila .....	18
3.2 Lumi ja routa .....	18
4 TULOKSET .....	18
4.1 Maaperäanalyysit ja sadot .....	18
4.2 Valunta .....	21
4.2.1 Pintavalunta .....	21
4.2.2 Salaojavalunta .....	21
4.3 Veden laatu .....	25
4.3.1 Pintavedet .....	25
4.3.2 Salaojavedet .....	26
4.4 Huuhtoutumat .....	28
4.4.1 Pintavesihuuhtoutumat .....	28
4.4.2 Huuhtoutumat salaojavesiin .....	28
4.4.2.1 Fosfori .....	28
4.4.2.2 Typpi .....	33
4.4.2.3 Keskimääräiset ravinnehuuhtoutumat käsittelyaikana .....	37
5 TULOSTEN TARKASTELU .....	40
5.1 Valunta .....	40
5.2 Veden laatu .....	42
5.2.1 Pintavedet .....	42
5.2.2 Salaojavedet .....	43
5.3 Huuhtoutumat salaojavesiin .....	44
5.3.1 Fosfori .....	44
5.3.2 Typpi .....	49
5.4 Päätelmät .....	54
6 TIIVISTELMÄ .....	55
KIRJALLISUUS .....	56
LIITTEET .....	68





# 1 JOHDANTO

Vuoteen 1995 ulottuvan vesiensuojelun tavoiteohjelman toteuttaminen edellyttää myös maatalouden vesistökuormituksen vähentämistä (Ympäristöministeriö 1988). Karjasuojien suorat päästöt tulee poistaa ja peltoviljelyn aiheuttamaa kuormitusta vähentää kolmanneksella.

Maatalouden aiheuttamaksi vesistökuormitukseksi on arvioitu Suomessa 2000 – 4000 t fosforia vuodessa ja 20 000 – 40 000 t typpeä vuodessa (Rekolainen 1989). Luvut edustavat peltoviljelyn aiheuttamaa kuormitusta, ja niihin sisältyy myös karjanlannan käytöstä aiheutuva huuhtoutuminen. Maatalouden fosforikuormituksesta noin neljäsosa on liukoista reaktiivista fosforia (Pietiläinen ja Rekolainen 1991). Olettaen, että liukoinen reaktiivinen fosfori on leville täysin käyttökelpoista ja että noin 5 % kiintoaineeseen sitoutuneesta fosforista on leville käyttökelpoista, saadaan leville käyttökelpoisen fosforikuormituksen osuudeksi noin 29 % maatalouden kokonaisfosforikuormituksesta eli noin 860 t vuodessa 3000 t vuosikuormasta (Ekholm 1992).

Karjanlannan osuus maamme peltujen lannoituksesta oli 1970 – ja 1980 – lukujen vaihteessa noin 10 – 15 % (Holma 1981). Tuolloin varastoitui vuosittain 13,5 milj. tonnia lantaa, josta lietelantaa 3,5 milj. tonnia. Lietelannan osuus karjanlannan käytöstä kasvoi 1970-luvulla Suomessa, suurilla tiloilla menetelmä oli yleisempi kuin pienillä (Kemppainen 1986), ja lietelannan osuus lannan käytöstä oli noin 19 % (Siman ym. 1987). Lantamääristä ja lannankäsittelystä karjatiloiilla ei ole em. selvitysten jälkeen saatavissa kattavaa uudempaa aineistoa, mutta vuoden 1990 maatalouslaskennan tuloksien valmistuminen tulee antamaan niistä lisätietoja.

Karjanlantaa on Suomessa tutkittu Maatalouden tutkimuskeskuksessa ja sen koeasemilla 1900-luvun alusta lähtien tutkimusten painopisteen ollessa lannan ravinteiden hyväksikäytössä. Hyväksikäytön tehostamiseen tähtäävät tutkimukset ovat osaltaan edistäneet vesiensuojelua. Kuitenkin lannan ravinteiden huuhtoutumisesta ja lannan käytön ympäristövaikutuksista on maassamme niukasti tutkimustietoja.

Varhaisimpia karjanlantaa käsitteleviä tutkimuksia Suomessa lienee Relanderin (1907) artikkeli karjanlannan kokoamisesta ja hoidosta. Kemppaisen (1989) mukaan karjanlantaa koskeva tutkimustoiminta oli 1950-luvulle saakka suhteellisen vilkkasta. Uudestaan karjanlantatutkimuksiin suuntauduttiin vasta 1970-luvulla. Syinä olivat väkilannoitteiden hintojen nousu ja huomion kiinnittyminen myös lannan käytön ympäristövaikutuksiin.

Suomen itsenäisyyden juhlavuoden 1967 –rahasto, SITRA, rahoitti 1980-luvun alussa tutkimusprojektin "Karjanlannan hyväksikäytön tehostaminen". Projektin käynnistymistä edelsi kirjallisuustutkimus aiheesta (Kemppainen ja Heimo 1981, 1983) ja esitutkimus karjanlannan hoidosta ja käytöstä (Holma 1981). Esitutkimuksen mukaan karjanlannan osuus peltujen lannoituksesta voisi olla teoriassa 25 % lannan ravinnemäärän perusteella. Lannan lannoitusvaikutuksen pienuus johtuu varastoinnin puutteellisuudesta, levityshävikistä, runsaasta levitysmäärästä, päällekkäisestä lannan ja väkilannoitteen käytöstä ja lannan jälkivaikutuksen riittämättömästä huomioonottamisesta. Käytön optimointi on vaikeaa, koska lannan ravinteiden käyttökelpoisuuden arviointi on hankalaa (Kemppainen ja Heimo 1981). Lannan ravinnepitoisuuden suuri vaihtelu johtuu mm. karjalajista ja -koosta, karjanruokinnasta sekä lannan keruu- ja varastointitavasta (Kemppainen 1984).

SITRAn tutkimusprojektissa naudan lietelanta todettiin tehokkaaksi ohran lannoitteeksi, kun lanta levitettiin keväällä sulaan maahan (Kemppainen 1985, 1989). Sijoituslannoitus yleensä paransi satotulosta, ja sijoituslannoituksella saatu sadonlisäys oli sitä suurempi, mitä pienempi levitettävä lantamäärä oli. Syksyllä ja talvella levitetyn lietelannan lannoitusvaikutus ohralle oli heikko. Syksyn lannoituksesta helppoliukoisen typen hävikki oli yli 50 %, ja talvioloissa levitetystä lannasta typen haihtuminen ja huuhtoutuminen oli suurta, joten satotasot jäivät huonoiksi (Kemppainen 1985). Lietelannan teho nurmen lannoitteena oli selvästi heikompi kuin teho ohran lannoitteena (Kemppainen ja Hakkola 1986). Lietelannoituksen vaikutuksen täydentäminen väkilannoitteella vaikutti erityisen edullisesti ohran kasvuun silloin, kun lietelanta oli levitetty ohran orastumisvaiheessa tai sen jälkeen (Kemppainen 1989).

Nitrifikaation estoaineen (Didin, disyandiamidi) lisäyksen on todettu parantavan syksyllä levitetyn lietelannan lannoitusvaikutusta (Kemppainen 1988) ja vähentävän typen huuhtoutumista turvemaassa (Kemppainen 1992). Aine estää nitrifioivan *Nitrosomonas*-bakteerin toiminnan ja siten lannan ammoniumtypen nitrifioitumisen vähentäen näin nitraattitypen määrää maassa. Nitrifikaation estoaine oli kuitenkin 3–4-kertaa kalliimpaa kuin Y-lannoitteen sisältämä typpi Kemppaisen (1988) mukaan. Sateisina aikoina aine huuhtoutuu helposti, mikä heikentää sen tehoa (Bock ym. 1981, ref. Kemppainen 1988). Toisaalta nitrifikaation estoaineella ei ole aina saatu aikaan typpihuuhtoutuman vähentymistä (esim. Wantulla ym. 1988), ja on arvioitu joissain oloissa olevankin kyse vain typpihuuhtoutuman viivästyttämisestä (esim. de la Lande Cremer 1986). Tulokset nitrifikaation estoaineen käytöstä ovatkin varsin vaihtelevia, kuten Kjellerup (1986a) totesi.

Karjanlannan levityksestä aiheutuvaa ravinteiden huuhtoutumista on tutkittu Suomessa niukasti. Lannan talvilevityksen vaikutuksista on tehty aiemmin kaksi selvitystä, toinen Pohjois-Karjalassa (Vesihallitus 1974), toinen Turun lähistöllä (Isotalo 1979). Pohjois-Karjalan vesipiirissä selvitettiin lietelannan ravinteiden huuhtoutumista pohjaveteen. Tutkimuksessa todettiin erittäin suuri pohjaveden ravinnepitoisuuksien nousu: kokonaistyyppi kohosi pitoisuudesta  $0,6 \text{ mg l}^{-1}$  pitoisuuteen  $34 \text{ mg l}^{-1}$  ja fosforipitoisuus pitoisuudesta  $0,03 \text{ mg l}^{-1}$  pitoisuuteen  $0,7 \text{ mg l}^{-1}$  (Vesihallitus 1974). Isotalon (1979) tutkimuksessa sian lietelannan ja jätevesilietteen talvilevityksestä lietelannasta huuhtoutui typpeä 15 % ja jätevesilietteestä 6,5 %, kun taas vastaavat fosforihuuhtoutumat olivat 9,4 % ja 0,13 %. Huuhtoutuminen tapahtui pintavalunnan mukana paksun roudan vuoksi (Isotalo 1979). Kummassakin tutkimuksessa päädyttiin siihen, että käytetyt lietemäärät ( $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) olivat liian suuret ja suhtauduttiin hyvin varauksellisesti lietelannan talvilevitykseen.

Lietelannan, puhdistamolietteen ja normaalin väkilannoituksen vaikutukset pinta-, salaoja- ja pohjavesiin Maaningan koekentällä vuosina 1979–1982 jäivät osittain selvittämättä, koska kentän maaperän ominaisuudet olivat hyvin vaihtelevat eikä kaikista tutkimusruuduista ja pohjavesiputkista saatu näytteitä (Melanen ym. 1985). Tutkimuksen alustavina karkeaa kivennäismaata koskevinä johtopäätöksinä todettiin kuitenkin pohjaveden nitraattipitoisuuden kasvu mahdolliseksi, kun taas pohjaveden hygieeninen pilaantuminen tai raskasmetallien kulkeutuminen pohjaveteen ei ollut todennäköistä. Lietelannan ja jätevesilietteen levitys lumelle tulisi sallia Melasen ym. (1985) mukaan vain poikkeustapauksissa. Pohjaveden nitraattipitoisuuksien nousua todettiin Rengossa pellon muokkauksen ja lannoituksen vuoksi; lisäksi karjanlannan levitys oli aiheuttanut kaivoveden ammoniumpitoisuuden nousua ja hygieenistä haittaa (Britschgi 1989).

Liperin savimaan koekentällä jätevesilietteen levityksen havaittiin selvimmin lisäävän typen huuhtoutumista ja käsittelyn vaikutuksen todettiin kestävän ainakin kaksi vuotta (Melanen ym. 1985). Jätevesilietekäsittelyistä ei Melasen ym. (1985) mukaan ole odotettavissa hygieenistä haittaa eikä raskasmetallien huuhtoutumista, kun liete levitetään silloisten ohjeiden mukaan ja suotuisissa oloissa. Ohjeissa (Vesihallitus 1981a) suositeltiin lietelannan kertalevitysmääräksi 20 – 50 m<sup>3</sup> ja levitystä routaantumattomalle maalle ja välitöntä multausta. Routaantuneelle maalle levittäminen sallittiin ohjeissa poikkeuksellisesti tasaiselle ja salaojitetulle pellolle (Vesihallitus 1981a).

Lietelannan huuhtoutumistutkimuksessa Liperissä ensimmäiset alustavat tulokset osoittivat, että syksyinen ja talvinen lietelannan levitys nostivat erittäin selvästi typen pitoisuuksia ja huuhtoutumia ja fosforin huuhtoutuma kaksinkertaistui ensimmäisenä käsittelyvuonna (Melkas ja Ahtiainen 1986). Sen sijaan ravinnehuuhtoutumat keväisestä lietelannan levityksestä ja väkilannoitetusta käsittelystä eivät poikenneet toisistaan. Ahtiaisen (1987) alustava tulokäsittely vuoteen 1986 asti toi esille mm. talvilevityksestä johtuvan erittäin suuret fosforin sekä orgaanisen aineen huuhtoutumat ja veden hygieenisen laadun huonontumisen syys- ja talvilevityksestä.

Karjanlannan ja puhdistamolietteen käyttöä maataloudessa ja käytön ympäristövaikutuksia on tutkittu paljon Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa. Tutkimuksissa on muun muassa selvitetty suurten karjanlantamäärien levitystä ja sen taloudellisuutta niin, ettei kasveille eikä ympäristölle aiheudu vahinkoja (esim. Kofoed ja Nemming 1980). Euroopan yhteisössä karjanlannan käytön taloudellista merkitystä viljanviljelyssä on myös korostettu (esim. L'Hermite ja Dehandtschutter 1980), samoin Ruotsissa (Kumm 1984).

Tutkimuksissa on todettu lannan levityksestä aiheutuvan ravinteiden rikastumista maaperään (esim. Kofoed ja Nemming 1980, Sherwood ja Fanning 1981, Vetter ja Steffens 1981a, 1981b, Furrer ja Gupta 1985, Maidl ja Fischbeck 1989, Ditz ym. 1990) sekä pintavesien pilaantumista suurten ravinnehuuhtoutumien takia (esim. Isermann 1990). Myös pohjavesien pilaantumista karjanlannan levityksestä johtuvien nitraattihuuhtoutumien takia ja sekä pohjavesien pilaantumisriskiä on todettu (esim. Smilde 1980, Steenvorden 1986, Strebel ym. 1989).

Tanskassa karjanlantaa ja sen vaikutuksia on tutkittu jo kauan (esim. Iversenin tutkimukset 1920-luvulta alkaen, ref. Kemppainen 1989). Mm. Kofoed ja Klausen (1986) havaitsivat suurten lietelantamäärien lisäävän huomattavasti typen huuhtoutumista fosforin huuhtoutumisen ollessa vähäistä. Nielsen ja Jensen (1990) puolestaan totesivat nitraattia kertyvän maaveteen selvästi enemmän karjanlannalla lannoitetulta kuin väkilannoitetulta pellolta. Hansenin ja Olesenin (1991) mukaan lannan levitykset myöhemmissä vuosikymmenissä ja talvella lisäsivät nitraatin kertymistä maaveteen. Tanskassa on todettu pohjavesien nitraattipitoisuuksien varsin selvää nousua, jonka aiheuttajana on maatalousalueilta huuhtoutuva nitraatti (Overgaard 1984). Tanskalaisissa tutkimuksissa karjanlannan ravinteiden huuhtoutumista onkin selvitetty monesti analysoimalla pohjaveden ja maaveden ravinnepitoisuuksia.

Norjassa erityisesti Uhlen on tutkinut karjanlannan levityksestä aiheutuvaa huuhtoutumista lysimetri- ja kenttäkokeissa (esim. Uhlen 1978a, 1978b, 1978c, 1981, 1989a, 1991). Tulosten mukaan lannan talvilevitys aiheutti suuria fosforin ja typen huuhtoutumia. Tutkimusoloissa pintavaluman mukana tapahtuva huuhtoutuminen oli yleensä huomattavasti suurempaa kuin huuhtoutuminen salaojavesiin (esim. Uhlen 1978b).



Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa on karjanlannan ohella usein käytetty myös väkilannoitteita. Karjanlannan käytöstä on todettu voivan aiheutua hyvinkin suuria ravinnehuuhtoutumia sekä pinta- että pohjaveteen ja myös salaojavesiin, erityisesti talvella tai routaantuneelle maalle levitettäessä (esim. Wiklander 1977, Brink ja Joelsson 1978, Brink ym. 1978, Brink ym. 1979, Brink ja Jernlås 1982, Brink ym. 1983, Gustafson 1983, Gustafson ja Torstensson 1984a, 1984b, Ulén 1984a, Brink 1987, Ellström ja Brink 1987). Tutkimuksia on tehty erilaisilla maalajeilla sekä kenttä- että lysimetrikokeina.

Maassamme ei ole ollut tutkimukseen perustuvaa tietoa lietalannan ravinteiden huuhtoutumisesta vesihallituksen (1974), Isotalon (1979) ja Melasen ym. (1985) tutkimusten lisäksi. Kemppainen (1992) on julkaissut uusia tuloksia lannan levityksen aiheuttamista huuhtoutumista. Karjanlannan levityksen aiheuttamasta huuhtoutumisesta on tehty suppea kirjallisuusselvitys (Melkas 1985). Pääosa huuhtoutumiskoe kenttien tutkimuksista Suomessa on tehty väkilannoituksen, viljelykasvien ja viljelytoimenpiteiden aiheuttamien huuhtoutumisen selvittämiseksi (esim. Jaakkola 1984a, 1984b, Turtola ja Jaakkola 1985, 1986, 1987, Palko 1988, Huhta 1989a, 1989b, Puustinen 1992, Turtola 1992).

Ulkomaisten tutkimusten tuloksia on vaikea sellaisenaan soveltaa Suomen oloihin, sillä olosuhteet ja tutkimusten toteutustapa eroavat (esim. maalajit, routa, kasvukauden pituus, lannanlaatu). Keskieurooppalaiset tutkimukset on tehty monesti lysimetrikokeina (esim. Unwin 1981, Stauffer ja Enggist 1990), samoin osa pohjoismaisista tutkimuksista (esim. Uhlen 1978a, 1978b, 1978c, 1989a, Bertilsson 1988). Tutkimuksissa on usein selvittämällä karjanlannan vaikutuksia maaveteen tai pohjaveteen (esim. Wantulla ym. 1988, Hansen ja Olesen 1991).

Useissa pohjoismaisissa tutkimuksissa on karjanlannan ohella lannoitukseen sisältynyt väkilannoitus. Monesti huuhtoutumia mitattu maaveden tai pohjaveden pitoisuuksista, ja salaojavesihuuhoutumista on melko vähän tietoja pohjoismaisissakin tutkimuksissa. Monissa tutkimuksissa on keskitytty typen huuhtoutumisen tarkasteluun. Tutkimustiedon tarvetta on ilmennyt myös lannan levityksajan vaikutuksista huuhtoutumiseen, esim. syys- ja kevätlevityksen olosuhteiden vaikutuksesta. Tämän vuoksi maassamme on ollut aiheellista tutkia yksityiskohtaisemmin karjanlannan ravinteiden huuhtoutumista. Tutkimustarvetta on korostanut myös se, että karjanlannan fosforin huuhtoutumisesta on niukasti soveltamiskelpoista tietoa saatavilla. Vesien rehevöitymisessä fosfori on usein avaintekijänä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri vuodenaikoina pellolle levitetyn naudan lietalannan aiheuttamaa ravinteiden huuhtoutumista toistettaessa lietalannan levitys useampana peräkkäisenä vuotena. Erityisesti tavoitteena oli tutkia fosforin huuhtoutumista salaojavesiin lietalannan levityksistä ja samalla myös verrata lietalantakäsittelyn ja väkilannoituksen ravinnehuuhtoutumia.

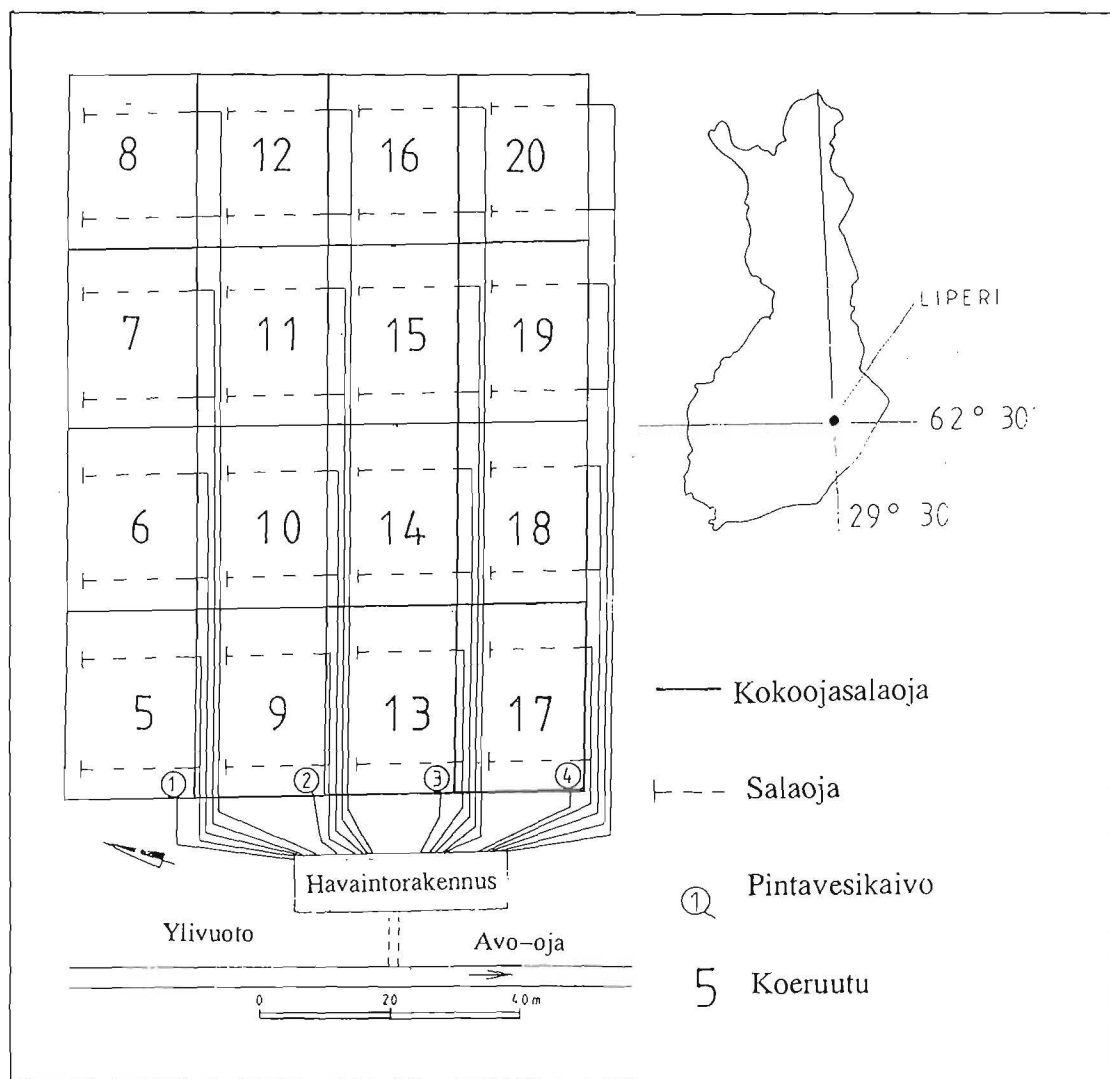
## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimus tehtiin vuosina 1983 – 1988 Liperissä Siikasalmen maatalousoppilaitoksen alueella sijaitsevalla huuhtoutumiskoe kentällä (kuva 1). Kentän maaperä on kolmen metrin syvyyteen saakka savea. Saven osuus on 0,1 – 0,6 m:n syvyydessä yli 60 %,

samoin syvyydessä 2,5 – 2,9 m. Kerroksessa 0,7 – 2,4 m saven osuus on 35 – 45 % ja siltin 55 – 65 % (Melanen ym. 1985).

Liperin kenttä on salaojitettu vuonna 1976. Kenttä on jaettu 16 ruutuun, joiden pinta-alat vaihtelevat 609 – 620 m<sup>2</sup>. Kultakin ruudulta kootaan vedet salaojiin. Lisäksi pintavedet kootaan neljään pintavesikaivoon kaistoittain. Salaojien ja pintavesikaivojen vedet kootaan halkaisijaltaan 34 mm muovisia kokoojaputkia pitkin havaintorakennukseen. Muovisten salaojaputkien halkaisija on 40 mm. Putket sijaitsevat 0,9 – 1,2 m:n syvyydessä. Imuojat sijaitsevat 15 – 16 m:n päässä toisistaan. Pintavesikaivot on rakennettu PVC-muoviputkesta, jonka halkaisija on 500 mm ja pituus 1500 mm. Putken yläosa on rei'itetty ojitussyvyyteen pintavesien keräämiseksi kaivoon. Kentän kaltevuus on vain 0,5 – 1 ‰.

Havaintorakennuksessa kunkin pintavesikaivon ja koeruudun vesimäärä mitataan jatkuvasti kääntyvän kaksiosaisen mitta-astian eli vaapun avulla. Vaappujen tilavuus vaihtelee 3,35 – 5,28 l välillä. Vesimäärä rekisteröidään sekä sähköisillä että mekaanisilla mittareilla. Vaappujen täyttyessä osa vedestä kootaan muovisiin näyteastioihin vesianalyysyjä varten. Vesinäytteet ovat virtaaman suhteessa otettuja kokoomänäytteitä.



Kuva 1. Liperin huuhtoutumiskoekenttä.

Vuodet 1978 – 1979 olivat kalibrintivuotia. Vuosina 1980 – 1982 tutkittiin jätevesilietteen levityksestä aiheutuvaa huuhtoutumista ohraa viljeltäessä (Ahtiainen 1984, Melanen ym. 1985, Melkas ym. 1985). Vuosina 1983 – 1984 koekenttä oli nurmena, samoin vuonna 1988.

Syksystä 1984 kevääseen 1987 saakka kentällä tutkittiin lietelannan levitysjankohdan vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen ohraa viljeltäessä. Lietelantaa levitettiin kolmena eri vuodenaikana: syksyisin ennen kyntöä, kevättalvisin lumelle ja keväisin ennen kylvöä. Syksyisin ja keväisin lietelanta mullattiin heti levityksen jälkeen. Jokainen käsittely tehtiin kolmesti syksyn 1984 ja kevään 1987 välisenä aikana aina neljälle samalle peräkkäiselle ruudulle (taulukko 1). Kuitenkin syyslevityksen ruudut (9 – 12) saivat ylimääräisen lietelanta-annoksen kevättalvella 1986. Vertailuna oli väkilannoitus. Jokaisessa käsittelyssä ja vertailussa oli neljä peräkkäistä ruutua. Koejärjestelyn sijainti oli koko käsittelyjakson sama.

Taulukko 1. Lietelannan huuhtoutumistutkimuksen koejärjestely Liperin kentällä vuosina 1984 – 1987.

Käsittely	Ruudut <sup>1)</sup>	Lannoitus aika	Lannoite <sup>2)</sup>
1 Vertailu	1; 5 – 8	5.6.1985	YN 500 kg ha <sup>-1</sup>
		2.6.1986	YN 500 kg ha <sup>-1</sup>
		27.5.1987	YN 500 kg ha <sup>-1</sup>
2 Syyslevitys	2; 9 – 12	9.10.1984	Lietelanta 50 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		22.10.1985	Lietelanta 50 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		9. 4.1986 <sup>3)</sup>	Lietelanta 53 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		16.10.1986	Lietelanta 53 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
3 Talvilevitys	3; 13 – 16	2.4.1985	Lietelanta 50 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		16.4.1986 <sup>3)</sup>	Lietelanta 53 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		6.4.1987	Lietelanta 53 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
4 Kevätlevitys	4; 17 – 20	4.6.1985	Lietelanta 50 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		30.5.1986	Lietelanta 53 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
		25.5.1987	Lietelanta 53 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>

<sup>1)</sup> Pintavesikaivon numero; käsittelyruutujen numerot (kuva 1).

<sup>2)</sup> YN = normaali Y-lannos, N:P:K 16:7:13 (Kemira Oy). Lietelanta = naudan lietelanta.

<sup>3)</sup> Syyslevityksiruuduille levitettiin lietelanta myös 9.4.1986.

Nurmea lannoitettiin vuosina 1983 – 1984 keväällä ja kesällä typpirikkaalla Y-lannoksella. Annetut ravinnemäärät olivat kokonaistyppeä 200 – 240 kg ha<sup>-1</sup> ja kokonaisfosforia 44 – 51 kg ha<sup>-1</sup> (taulukko 2a). Käsittelyruuduille levitettiin lietelantaa vuosina 1984 – 1987. Lietelanta-annoksessa, määrässä 50 – 53 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, oli keskimäärin kokonaistyppeä 120 kg kg ha<sup>-1</sup>, liukoista typpeä 72 kg ha<sup>-1</sup> ja fosforia 17 kg ha<sup>-1</sup> (taulukko 2b). Vertailuruutuja lannoitettiin vuosina 1985 – 1987 väkilannoitteella, ja annetut ravinnemäärät olivat 80 kg ha<sup>-1</sup> kokonaistyppeä ja 35 kg ha<sup>-1</sup> kokonaisfosforia (taulukko 2a).

Taulukko 2a. Liperin koekentän väkilannoitus koko kentälle vuosina 1983 – 1984 ja 1988 sekä vertailuruuduille (ruudut 5–8) levityt väkilannoitemäärät vuosina 1985 – 1987. (Siikasalmen maatalousoppilaitos, MTTK, Karjalan tutkimusasema)

Levitysaika	Kok. N	Kok. P	K	Lannoitelaatu ja -määrä <sup>1)</sup>	Viljelykasvi
	kg ha <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>	
19.5.1983	120	26	50	YTR 600	Heinä
14.7.1983	80	18	33	YTR 400	Heinä
Kevät 1984	150	33	62	YTR 750	Heinä
12.7.1984	90	18	37	YTR 450	Heinä
Kevät 1988	100	0	0	OS 400	Heinä
5.6.1985	80	35	57	YN 500	Ohra
2.6.1986	80	35	57	YN 500	Ohra
27.5.1987	80	35	57	YN 500	Ohra

<sup>1)</sup> YTR = typpirikas Y-lannos, N:P:K 20:47:8; YN = normaali Y-lannos, N:P:K 16:7:13; OS = Oulun salpietari, N:P:K 27,5:0:0 (Kemira Oy).

Taulukko 2b. Annetut ravinnemäärät lietelannan levityskokeessa vuosina 1984 – 1987. (MTTK, Jokioinen)

Levitysaika	Ruudut	Kok. N	Liuk. N	Kok. P	K	Ca	Mg	ka <sup>1)</sup>
		kg ha <sup>-1</sup>						%
9.10.1984	9–12	109	58	16	120	29	19	4,9
2.4.1985	13–16	168	102	17	177	29	18	5,8
3.6.1985	17–20	142	72	24	138	26	16	7,4
22.10.1985	9–12	113	76	16	103	18	12	4,5
9.4.1986	9–12	83	63	10	117	14	7,5	2,0
16.4.1986	13–16	83	63	10	117	14	7,5	2,0
30.5.1986	17–20	122	77	22	106	22	14	5,3
16.10.1986	9–12	104	81	12	100	18	10	6,6
6.4.1987	13–16	118	63	22	95	31	14	4,9
25.5.1987	17–20	119	65	21	112	35	14	5,1

<sup>1)</sup> ka = kuiva-aine

Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri (PKvy) teki lumi- ja routamittaukset vesi- ja ympäristöhallinnon käyttämin menetelmin (Vesihallitus 1984). Sadantatiedot ovat ilmatieteen laitoksen Liperin Kaatamon ilmastiasemalta, joka sijaitsee noin 8 km länteen koekentästä ja lämpötilatiedot ovat Joensuun lentoasemalta, noin 20 km koekentästä koilliseen.

Maanäytteet, lietelantanäytteet ja satonäytteet otti MTTK:n Karjalan tutkimusasema. Ne analysoitiin MTTK:n Jokioisten tutkimusasemalla. Maan ravinnetilan selvittämiseksi määritettiin happamaan ammoniumasetattiin (pH 4,65) uuttuvien fosforin, kaliumin, ja kalsiumin määrät (Vuorinen ja Mäkitie 1955). Maan ammonium- ja nitraattityppi määritettiin Sippolan ja Ylärannan (1985) esittämällä menetelmillä. pH-arvo määritettiin maa-vesi -suspensiosta (1:2,5). Lantanäytteet analysoitiin Kemppaisen (1984) ja Kjellerupin (1986b) esittämällä menetelmillä. Siikasalmen maatalousoppilaitos vastasi kentän viljelystä yhteistyössä Karjalan tutkimusaseman kanssa. Muusta kentän hoidosta vastasi Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri.

Vesinäytteet analysoitiin yleensä viikoittain tulvakaussina, muulloin kuukausittain tai harvemmin vähäisen valuman aikana. Näytteitä säilytettiin ennen analysointia + 4 °C lämpötilassa. Vesianalyysit tehtiin Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiirin laboratoriossa vesi- ja ympäristöhallinnossa käytetyillä menetelmillä, joista useimmat on standardisoitu (Vesihallitus 1981b). Näytteistä analysoitiin sameus, sähkönjohtavuus, pH-arvo, väri, kemiallinen hapen kulutus ( $COD_{Mn}$ , orgaanisen aineen määrä), kokonaisfosfori ( $P_{tot}$ ), fosfaattifosfori ( $P_{PO_4}$ ), kokonaistyyppi ( $N_{tot}$ ), nitraattityppi ( $N_{NO_3}$ ) sekä ammoniumtyppi ( $N_{NH_4}$ ). Vuosina 1986 - 1988 analysoitiin lisäksi liukoinen fosfaattifosfori ( $P_{PO_4L}$ , suodatin Gelman 0,45  $\mu m$ ). Kiintoaine ja biologinen hapen kulutus ( $BOD_7$ ) määritettiin osasta näytteitä, samoin fekaaliset streptokokit ja fekaaliset kolimuotoiset bakteerit. Alkali-, maa-alkali- ja raskasmetallianalyysijä tehtiin tutkimusjakson alussa vesi- ja ympäristöhallituksen tutkimuslaboratoriossa.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kasvinravinteiden, fosforin ja typen sekä niiden fraktioiden pitoisuuksia ja huuhtoutumia.

Vesimäärät mitattiin salaojavesistä ruuduittain (ruudut 5 - 20 = salaojavedet, kuva 1). Pintavesien (kaivot 1 - 4) mittaustulokset edustavat käsittelykohtaisten kaistojen (neljän peräkkäisen ruudun) summia. Erityisesti tulvakaussilta vesimäärämittauksia on runsaammin kuin vesinäytteitä. Vuoden 1983 alusta toukokuun 1984 loppuun asti vesinäytteet otettiin salaojavesistä ruuduittain. Syksystä 1984 vuoden 1988 loppuun näytteet yhdistettiin kahdelta ruudulta kokoomanäytteiksi siten, että kutakin käsittelyä kohti tuli kaksi vesinäytettä (ruudut 5 + 6, 7 + 8, jne.).

Tuloksista laskettiin em. tavoin yhdistettyjen ruutujen vesimäärien keskiarvot näytekerrasta toiseen ( $Q_i$ , l näytekerta<sup>-1</sup>) sekä kuukausikeskiarvona ( $Q_{kk}$ , l kk<sup>-1</sup>). Näistä arvoista laskettiin edelleen ko. yhdistettyjen ruutujen keskimääräinen kuukausivaluma,  $\bar{q}_{kk}$  (l s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>). Vesinäytteistä analysoidut pitoisuudet ( $c_i$ , havaittu pitoisuus,  $\mu g$  l<sup>-1</sup> tai mg l<sup>-1</sup>) on laskettu aritmeettisina kuukausikeskiarvoina.

Huuhtoutumat laskettiin kuukausihuuhtoutumina:

$$L_{kk} = \bar{c}_{kk} \bar{q}_{kk} , \quad (1)$$

jossa  $\bar{c}_{kk}$  = virtaamapainotettu kuukausipitoisuus  
 $\bar{q}_{kk}$  = kuukauden keskivaluma  
 $L_{kk}$  = kuukausihuuhtoutuma ( $\text{kg ha}^{-1} \text{kk}^{-1}$ ),

ja

$$\bar{c}_{kk} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (2)$$

$c_i$  = havaittu pitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ,  $\text{mg l}^{-1}$ )  
 $q_i$  = havaintojakson valuma ( $\text{l s}^{-1} \text{km}^{-2}$ )  
 $n$  = havaintojen lukumäärä  
 $\bar{c}_{kk}$  = virtaamapainotettu kuukausipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ,  $\text{mg l}^{-1}$ ).

Vuodenajoittaiset huuhtoutumat laskettiin kuukausiarvojen summina seuraavasti:

talvi = joului-, tammi- ja helmikuu,  
 kevät = maaliskuu-, huhti- ja toukokuu,  
 kesä = kesä-, heinä-, elokuu- ja syyskuu ja  
 syksy = loka- ja marraskuu.

Jaottelu vuodenaikoihin tehtiin lannoitusajankohtien ja viljelytoimenpiteiden perusteella. Jaottelu eroaa Liperin koekentän aiemmassa tutkimuksessa käytetystä hydrologisesta vuodesta (aika 1.11. – 31.10.) sekä vuodenaikajaottelusta (kevät 1.3. – 31.5., kesä 1.6. – 31.10., talvi 1.11. – 28.2.; Melanen ym. 1985) .

Vuosihuuhtoutuma laskettiin ajalle 1.12. – 30.11. kuukausihuuhtoutumien summana:

$$L_a = \sum_{i=1}^n L_{kk} \quad (3)$$

jossa  $L_a$  = vuosihuuhtoutuma ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ )  
 $n$  = kuukausi (1 – 12).

Tutkimusaineisto käsiteltiin vesi- ja ympäristöhallinnon VAX-tietokoneella käyttäen SAS-ohjelmistoa (SAS 1990). Salaojavesien huuhtoutuma-aineistoon sovellettiin toistettujen mittausten varianssianalyysiä ja parittaisissa vertailuissa käytettiin Dunnettin testiä (SAS 1990, Malin ja Pahkinen 1990, Ranta ym. 1991). Pintavesihuuhtoutumat ja talviset huuhtoutumat salaojavesiin jätettiin tilastollisen tarkastelun ulkopuolelle havaintojen vähäisyyden vuoksi.



### 3 TUTKIMUSJAKSON SÄÄOLOT

#### 3.1 Sadanta ja lämpötila

Tutkimusjakson vuotuinen keskisadanta oli 626 mm, kun vuosien 1931 – 1960 sadanta oli keskimäärin 605 mm. Vuonna 1983 sademäärä oli 741 mm eli lähes 140 mm vertailujakson sadantaa suurempi (liite 1). Vuosien 1984 – 1986 ja 1988 sadannat puolestaan olivat hieman vertailujakson määriä pienemmät, vuonna 1987 suurempi.

Tutkimusjaksolla vuoden keskilämpötila oli 1,7 °C, kun se 1931 – 1960 vertailujaksolla oli 2,5 °C. Vuosien 1983 – 1984 keskilämpötilat, 3, 0 °C ja 3,4 °C olivat vertailujakson arvoa selkeästi korkeampia. Vuodet 1985 – 1987 olivat viileitä: vuoden keskilämpötilat olivat vain 0,1 – 0,5 °C. Vuoden 1988 keskilämpötila oli 2,7 °C (liite 1).

#### 3.2 Lumi ja routa

Roudan syvyys vaihteli maaliskuis – huhtikuussa vuosina 1983 – 1988 arvojen 0 – 63 cm välillä, ja keskimäärin routaa oli maaliskuis–huhtikuun vaihteessa 23 cm (liite 2). Roudattomia olivat vuodet 1983 ja 1984. Vuoden 1983 lumen vesiarvotulokset on saatu vertaamalla koekentän muiden vuosien lumimittaustuloksia Puntarikosken havaintoihin (Vesi- ja ympäristöhallitus 1987, 1990, 1991). Lumen vesiarvot olivat maaliskuis – huhtikuun vaihteessa Liperin kentällä olleet pienimmillään 50 – 60 mm vuonna 1987 ja suurimmillaan koko kentän keskiarvona lähes 230 mm vuonna 1984 (liite 2). Tutkimusjaksolla keskimääräinen lumen vesiarvo maaliskuis–huhtikuun vaihteessa oli 103 mm ja lumen syvyys 48 cm.

### 4 TULOKSET

#### 4.1 Maaperäanalyysit ja sadot

Ennen lietalannan levitystä syksyllä 1984 koekentän pintamaan typpiärvot olivat tasaiset kentän eri osissa, sen sijaan fosforipitoisuudet olivat suurimmat vertailukäsittelyyn varatulla kaistalla (taulukko 3a). Maan pH-arvot vaihtelivat jonkin verran, ja olivat suurimmat (pH-arvo 6,50) talvilevityskaistalla, alhaisimmat vertailukaistalla. Lietalannan levitysjaksolla vuonna 1985 maaperäanalyysit tehtiin vain pintamaasta. Vertailukäsittelyn ja talvilevityksen fosforiärvot olivat suurimmat: ne olivat nousseet noin 3–4 mg l<sup>-1</sup> aiemmasta, joskin myös muiden käsittelyjen pitoisuudet olivat kohonneet (taulukko 3b). Nitraatti- ja ammoniumtyyppiä oli selvästi enemmän vertailuruuduilla kuin muissa osissa kenttää. Lietalannan levitysjakson jälkeen fosforiärvot olivat suurimmat vertailu- ja syyslevityskaistoilla, ja pienimmät talvilevityskaistalla (taulukko 3c). Typpituloksia ei ole käytettävissä syksyltä 1987.

Taulukko 3a. Liperin koekentän maan happamuus ja ravinnepitoisuudet 21.9.1984. (MTTK, maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto, Jokioinen)

Käsittely <sup>1)</sup>	Näytesyv. (cm)	pH	Uuttuvat ravinteet (mg l <sup>-1</sup> maata)				N (%)
			Ca	K	Mg	P	
1	0 – 20	6,30	1 550	55	185	8,6	0,26
	20 – 40	6,65	1 325	50	325	1,7	0,06
	40 – 70	6,55	1 450	115	445	0,8	0,03
	70 – 100	6,35	1 175	90	270	0,8	0,01
2	0 – 20	6,40	1 575	45	185	6,4	0,26
	20 – 40	6,60	1 425	60	335	1,7	0,06
	40 – 70	6,50	1 300	110	360	0,9	0,02
	70 – 100	6,30	1 050	85	260	0,9	0,01
3	0 – 20	6,50	1 725	60	200	8,1	0,27
	20 – 40	6,60	1 525	75	310	2,9	0,11
	40 – 70	6,50	1 275	110	390	0,9	0,02
	70 – 100	6,35	975	85	295	0,8	0,01
4	0 – 20	6,35	1 550	80	220	4,8	0,27
	20 – 40	6,50	1 475	75	360	1,3	0,10
	40 – 70	6,45	1 175	95	365	0,7	0,02
	70 – 100	6,50	1 150	90	325	0,6	0,02

<sup>1)</sup> Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

Taulukko 3b. Liperin koekentän happamuus ja ravinnepitoisuudet 6.6. ja 30.8.1985. (MTTK, maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto, Jokioinen)

Käsittely <sup>1)</sup>	Näytesyv. (cm)	pH	Uuttuvat ravinteet (mg l <sup>-1</sup> maata)					
			Ca	K	Mg	P	NH <sub>4</sub> <sup>2)</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2)</sup>
1	0 – 20	6,35	1 750	55	200	12,4	1,62	3,90
2	0 – 20	6,30	1 625	65	190	9,9	1,30	1,83
3	0 – 20	6,55	1 825	50	175	11,3	1,51	1,82
4	0 – 20	6,15	1 500	65	200	7,0	1,23	1,09

<sup>1)</sup> Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

<sup>2)</sup> Tulokset 6.6.1985.

Taulukko 3c. Liperin kentän happamuus ja ravinnepitoisuudet 1.10.1987.  
(MTTK, maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto, Jokioinen)

Käsittely <sup>1)</sup>	Näytesyv. (cm)	pH	Uuttuvat ravinteet (mg l <sup>-1</sup> maata)			
			Ca	K	Mg	P
1	0 – 20	6,35	1 504	73	166	9,6
2	0 – 20	6,45	1 638	96	182	9,3
3	0 – 20	6,45	1 679	72	181	7,2
4	0 – 20	6,45	1 546	83	204	7,6

<sup>1)</sup> Käsittelyt: 1 =vertailu, 2 =syyslevitys, 3 =talvilevitys, 4=kevätlevitys.

Keskimäärin suurin ohrasato vuosina 1985 – 1987 saatiin vertailuruuduilta (taulukko 4a). Sadot olivat pienimmät lietelannan kevät- ja syyslevityksen kaistoilta: noin 90 % vertailukäsittelyn sadosta. Samansuuntaiset erot sadoissa havaittiin jo kalibrointijaksolla 1983 – 1984: nurmisadot olivat suurimmat vertailukäsittelyyn varatuilta ruuduilta, kun taas pienimmät nurmisadot olivat kumpanakin vuonna lietelannan kevätlevitykseen varatuilta ruuduilta (taulukko 4b). Eri vuosien ohrasadot lietelantakäsittelyissä olivat 60 – 115 % väkilannoituksella saadusta. Ohra lakoontui eniten vertailukäsittelyssä. Pienintä lakoontuminen oli lietelannan syyslevityksen kaistalla vuonna 1985 sekä kevätlevityksen kaistalla vuonna 1987 (taulukko 4a).

Taulukko 4a. Liperin koekentän ohrasato (kg ha<sup>-1</sup>) käsittelyittäin vuosina 1985 – 1987.  
(MTTK, Jokioinen)

Vuosi	Käsittelyt			
	Vertailu	Syyslevitys	Talvilevitys	Kevätlevitys
1985 sato (kg ha <sup>-1</sup> )	3 000	3 450	3 130	3 420
suhdeluku	100	115	104	114
lako (%)	90	5	44	13
1986 sato (kg ha <sup>-1</sup> )	2 500	1 960	2 320	1 510
suhdeluku	100	78	93	60
lako (%)	..	..	..	..
1987 sato (kg ha <sup>-1</sup> )	1 820	1 280	1 710	1 650
suhdeluku	100	70	94	91
lako (%)	29	4	10	0
Keskiarvo 1985 – 1987 (kg ha <sup>-1</sup> )	2 440	2 230	2 390	2 190
suhdeluku	100	91	98	90

.. = tieto puuttuu.

Taulukko 4b. Liperin koekentän nurmisato ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) käsittelyittäin vuosina 1983 – 1984. (MTTK, Jokioinen)

Vuosi Sato	Käsittelyt			
	Vertailu	Syyslevitys	Talvilevitys	Kevätlevitys
1983 sato ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	11 850	11 560	11 680	10 790
suhdeluku	100	98	98	91
1984 sato ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	8 690	8 580	8 503	8 426
suhdeluku	100	99	98	97

## 4.2 Valunta

### 4.2.1 Pintavalunta

Kalibrointijaksolla vuosina 1983 – 1984 pintavesivalunta oli keskimäärin 12 mm vaihdellen välillä 5 – 32 mm (liite 3). Valtaosa pintavesivalunnasta tuli keväällä huhtikuun kolmen viimeisen viikon aikana. Talvella 1983 – 1984 ja kesällä 1984 pintavesivaluntaa ei ollut. Kevätvalunta huhtikuun alusta toukokuun alkuun muodosti pääosan pintavalunnasta vuonna 1984.

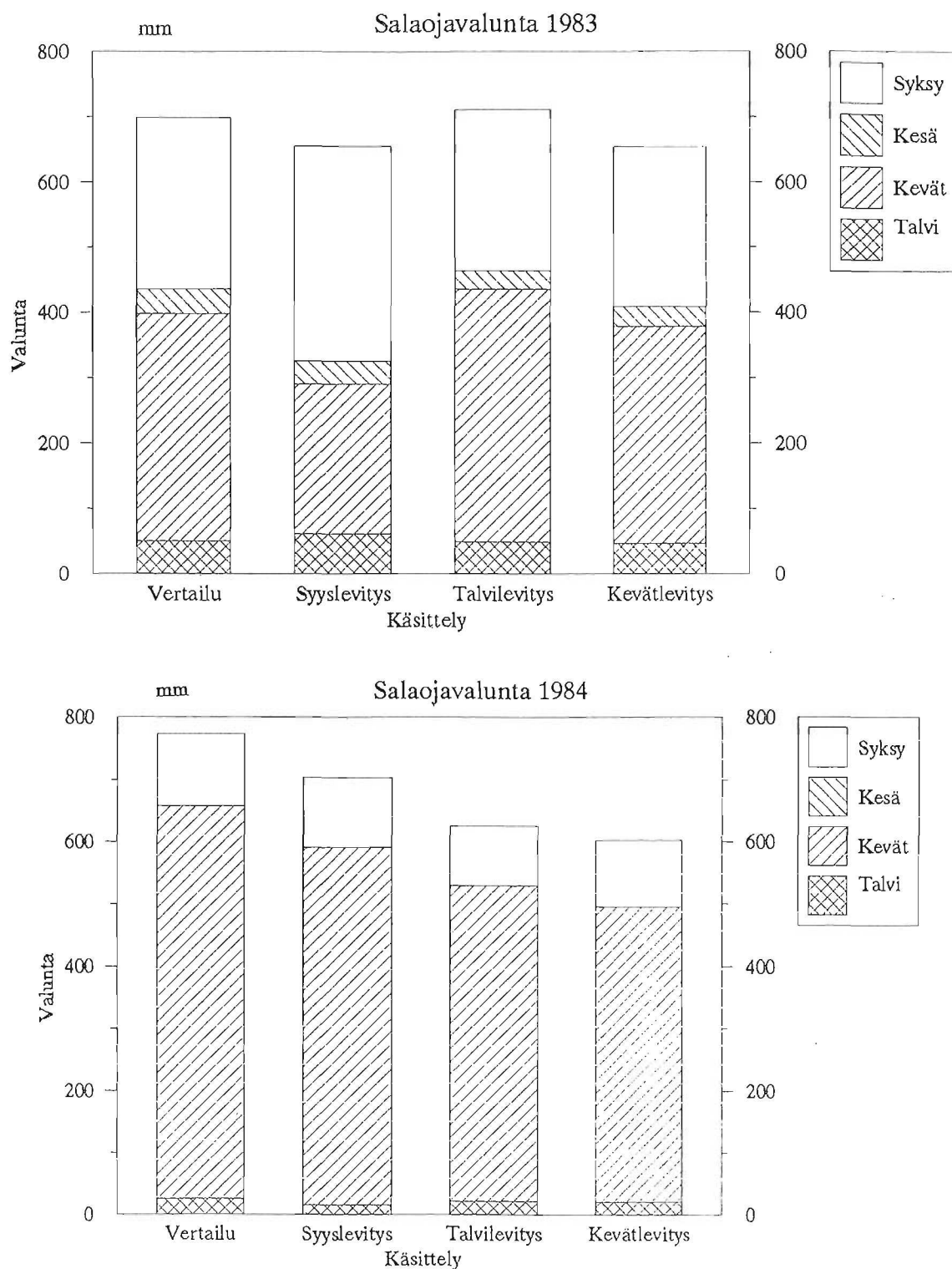
Käsittelyvuosina pintavalunta vaihteli vuosittain muutamasta millimetristä 16 mm:iin (liite 3). Valunta tuli lähes kokonaan keväisin muutamien viikkojen kuluessa. Vuoden 1985 – 1986 pintavesivalunnat olivat tutkimusjakson pienimmät, eikä talvivaluntaa ollut. Pintavesivaluntaa oli jonkin verran koko kesän 1987 toisin kuin muina tutkimusjakson 1983 – 1988 kesinä. Vuonna 1987 – 1988 pintavesivalunta oli keskimäärin 14 mm.

### 4.2.2 Salaojavalunta

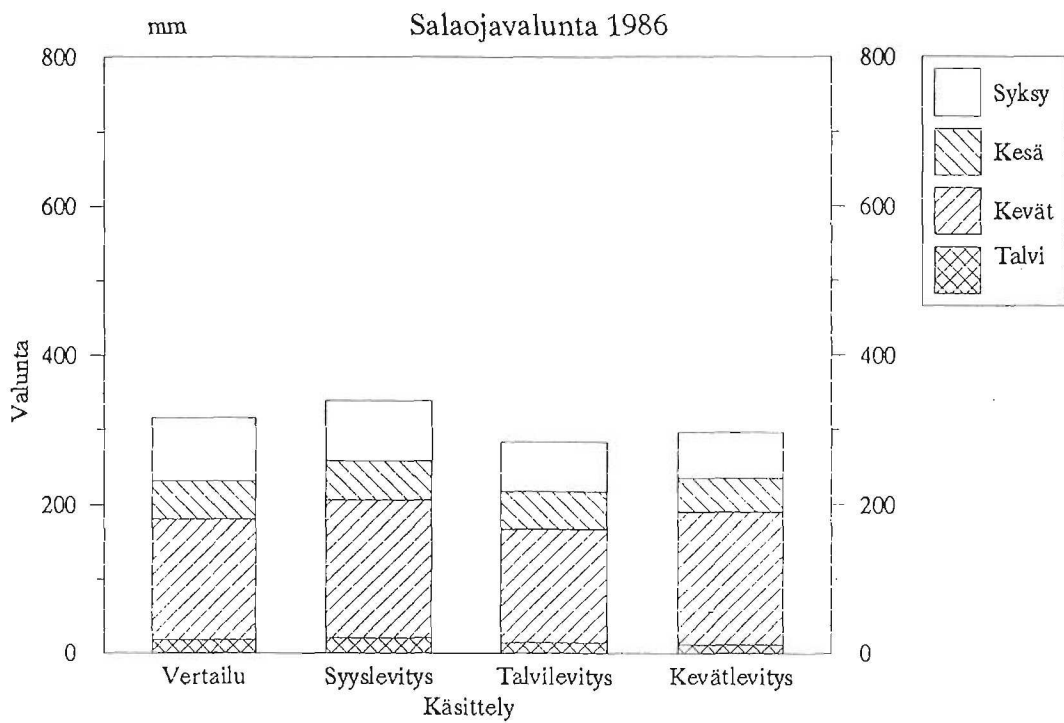
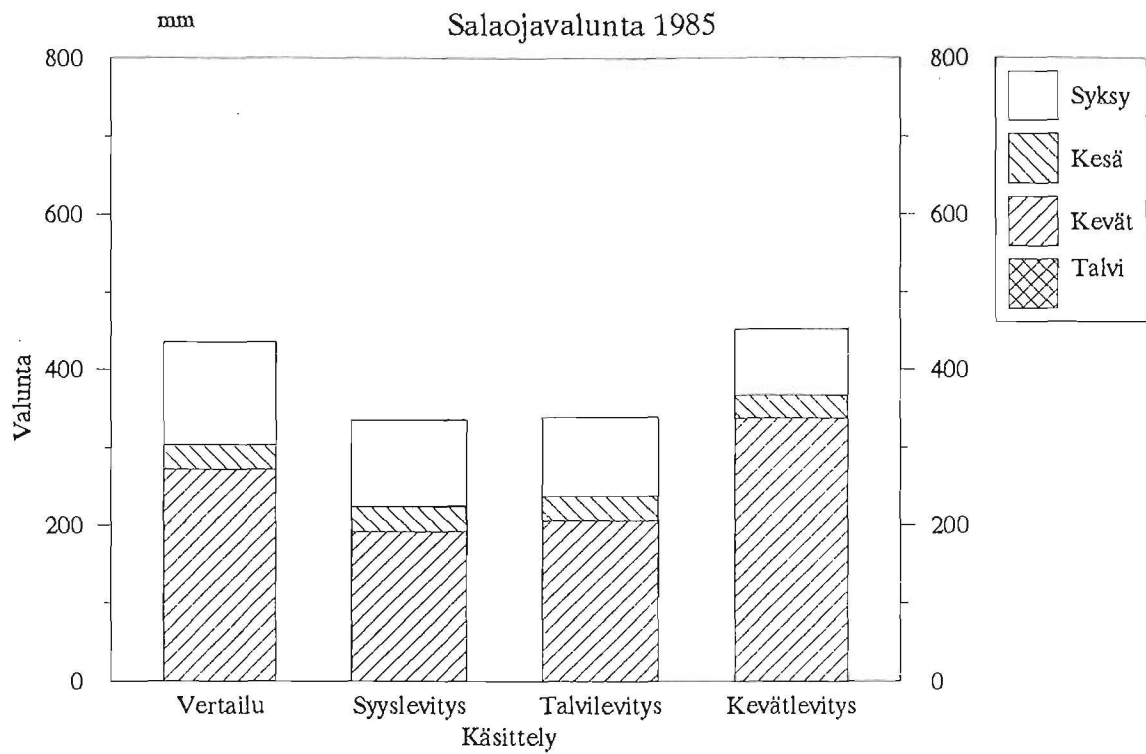
Kalibrointijaksolla salaojavesien vuosivalunta vaihteli välillä 650 – 710 mm (kuva 2a). Noin 35 – 50 % vuosivalunnasta tuli keväällä eli maaliskuis – toukokuussa, ja jokseenkin saman verran syksyllä. Kevätvalunnat vaihtelivat 230 – 390 mm, huipun ajoittuessa huhtikuun viimeiselle viikolle. Kesävalunnat olivat noin neljä – viisi prosenttia vuosivalunnasta.

Käsittelyvuosina 1984 – 1987 vuosivalunta vaihteli vuosikeskiarvoina välillä 310 – 680 mm (liite 3). Pienin valunta, 280 mm, mitattiin talvilevityksestä vuonna 1986 ja suurin valunta, 770 mm, vertailukäsittelystä vuonna 1984. Talvivaluntaa oli hyvin vähän (kuvat 2a – 2c). Kevätvalunnan osuus oli varsin suuri, noin 4/5 vuoden kokonaisvalunnasta vuonna 1984, ja syysvalunta 1984 oli noin 15 – 17 % vuosivalunnasta. Suurin osa syysvalunnasta tuli lokakuussa. Vuosina 1985 – 86 kevätvalunnan osuus vaihteli välillä 50 – 75 % (kuva 2b). Kesävalunnan osuus oli tavallisesti pieni, poikkeuksena vuoden 1987 osuus, 43 – 53 %. Syysvalunnan osuus vuosivalunnasta vaihteli välillä 19 – 34 %, ja oli lukuunottamatta kevätlevitysruntuja vuonna 1985 noin 30 %.

Seurantajaksolla vuonna 1988 salaojavalunnat olivat suuret: ne vaihtelivat kevätlevityksen 440 mm:stä vertailuruutujen arvoon 630 mm (kuva 2c). Kevätvalunta oli vuosivalunnasta noin 64 – 77 % huipun ajoittuessa toukokuun alkupäiviin. Suuri osa kesävalunnasta saatiin elokuussa. Kesävalunnan osuus vaihteli 16 – 23 % käsitte-lykohtaisesti. Syysvalunnat jäivät pieniksi ja olivat noin 10 % kokonaisvalunnasta ajoittuen lähes täysin lokakuuhun. Talvella 1988 –1989 valuntaa oli vain joulukuun 1988 alussa.

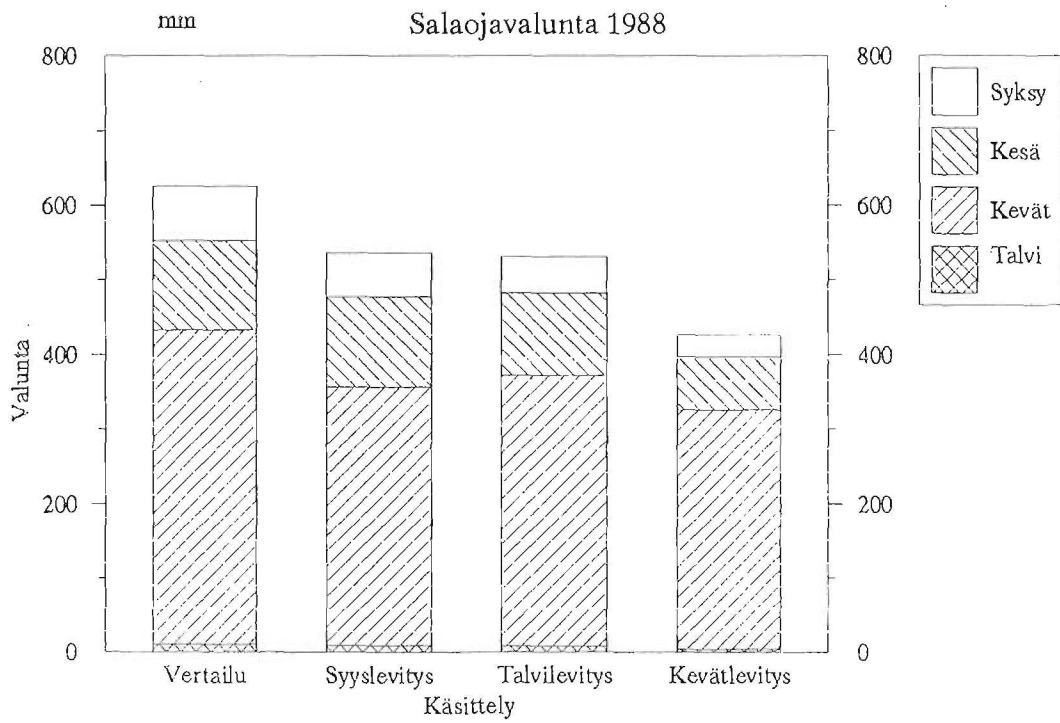
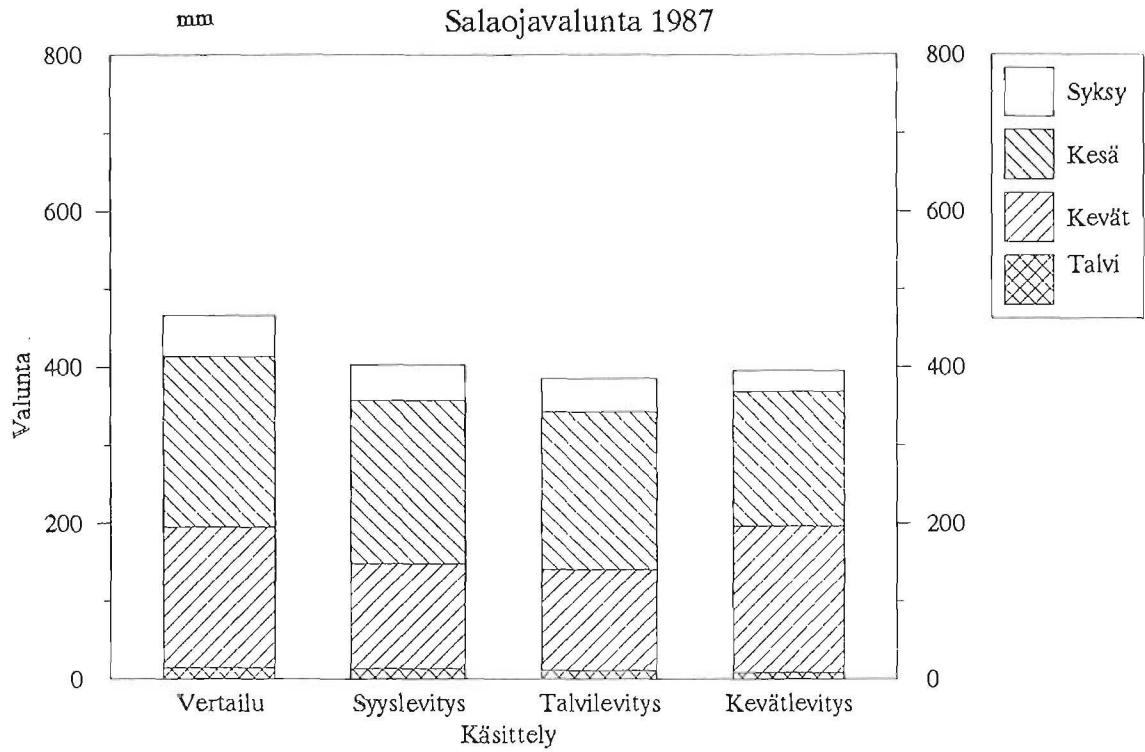


Kuva 2a. Salaojavalunnat (mm) Liperin koekentällä havaintovuosina 1983 ja 1984.



Kuva 2b. Salaojavalunnat (mm) Liperin koekentällä havaintovuosina 1985 ja 1986.





Kuva 2c. Salaojavalunnat (mm) Liperin koekentällä havaintovuosina 1987 ja 1988.

## 4.3 Veden laatu

### 4.3.1 Pintavedet

Tutkimuksen kalibrointijaksolla pintaveden kokonaisfosforipitoisuuden ( $P_{\text{tot}}$ ) keskiarvo oli  $170 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  ja fosfaattifosforin vastaavasti  $52 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  (taulukko 5). Lietelannan levitys nosti pintavesien  $P_{\text{tot}}$ - ja  $P_{\text{PO}_4}$ -maksimipitoisuuksia selkeästi. Suurimmat pitoisuudet mitattiin talvilevityksen jälkeen keväällä 1985. Lietelannalla käsiteltyjen ruutujen pintavesissä kokonaisfosfori oli keskiarvona yhtä suuri kuin kalibrointiaikana (taulukko 5). Sen sijaan fosfaattifosforin pitoisuus nousi lietalantakäsittelyjen seurauksena kaksinkertaiseksi ( $99 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) vertailukäsittelyn pitoisuuteen verrattuna ( $52 \mu\text{g l}^{-1}$ ), myös liukoisen fosfaattifosforin pitoisuus nousi lähes kaksinkertaiseksi vertailukäsittelyyn verrattuna. Pienimmät pintavesien kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforin pitoisuudet mitattiin talvella 1986 – 1987 lietalannan syyslevityksruutujen pintavesistä, jolloin myös liukoisen fosforin ( $P_{\text{PO}_4\text{L}}$ ) pitoisuus oli pienin. Lietelannan levityksen vaikutus näkyi käsittelyjakson jälkeen jonkin verran fosfaattipitoisuuksien keskiarvojen kasvuna vertailujaksoon nähden. Sen sijaan  $P_{\text{tot}}$ -pitoisuudet olivat samansuuruiset vertailu- ja lietalantakäsittelyistä (taulukko 5).

Taulukko 5. Pintavesien fosforipitoisuuksien ( $\mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) keskiarvot (ylärivit), vaihteluvälit (keskirivit) ja havaintojen lukumäärät (alarivit).  $P_{\text{tot}}$  = kokonaisfosfori,  $P_{\text{PO}_4}$  = fosfaattifosfori,  $P_{\text{PO}_4\text{L}}$  = liukoinen fosfaattifosfori.

Jakso	Fosforipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) vertailukäsittelystä			Fosforipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) lietalanta- käsittelyistä		
	$P_{\text{tot}}$	$P_{\text{PO}_4}$	$P_{\text{PO}_4\text{L}}$	$P_{\text{tot}}$	$P_{\text{PO}_4}$	$P_{\text{PO}_4\text{L}}$
Ennen	170	52	..	..	..	..
	18 – 330	4 – 110				
	16	12				
Käsittely	120	63	32	170	99	53
	50 – 220	24 – 130	24 – 52	45 – 630	20 – 490	15 – 130
	22	22	8	64	62	22
Jälkeen	120	61	39	120	72	46
	43 – 230	29 – 110	15 – 80	43 – 240	26 – 140	12 – 110
	8	9	8	27	27	23

.. = tieto puuttuu.

Typpipitoisuudet pintavesissä olivat ennen lietalantakäsittelyä kokonaistypen ( $N_{\text{tot}}$ ) osalta keskimäärin  $1700 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ , nitraattitypen ( $N_{\text{NO}_3}$ ) osalta  $870 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$  ja ammoniumtypen ( $N_{\text{NH}_4}$ ) keskimäärin  $25 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$  (taulukko 6). Käsittelyjaksolla pintaveden suurin kokonaistypen pitoisuus mitattiin keväällä 1985 talvilevityksestä ( $6100 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ ) ja keväällä 1986 vertailukäsittelystä. Vertailukäsittelystä todettiin samaan aikaan käsittelyjakson suurin  $N_{\text{NO}_3}$ -pitoisuus,  $5000 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ . Ammoniumtypen suurin pitoisuus,  $2900 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ , sen sijaan havaittiin lietalannan talvilevityksen jälkeen keväällä 1985. Keskiarvot jäivät lietekäsittelyistä vertailukäsittelyn vastaavan ajan pitoisuuksia pienemmiksi kokonais- ja nitraattitypen osalta. Sen sijaan ammoniumtypen keskipitoisuus nousi lietekäsittelyn seurauksena lähes kuusinkertaiseksi vertailuun nähden (pitoisuudet  $210 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$  ja  $37 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ , taulukko 6). Lietelannan levityksen jälkeisinä vuosina pintavesien kokonaistypen ja nitraattitypen keskipitoi-

suudet olivat lietekäsittelyruutujen pintavesissä suuremmat kuin vertailuruuduilta. Myös ammoniumtyypen pitoisuuksien keskiarvot olivat lietekäsittelyjen jälkeen vertailukäsittelyn pitoisuuksia suuremmat (taulukko 6). Pitoisuudet olivat pienemmät kuin vertailujaksolla lukuunottamatta ammoniumtyypen pitoisuutta, joka oli lietekäsittelyn ruuduilta suurempi kuin kalibrointiaikana.

Taulukko 6. Pintavesien typpipitoisuuksien ( $\mu\text{g l}^{-1} \text{ N}$ ) keskiarvot (ylärivit), vaihteluvälit (keskirivit) ja havaintojen lukumäärät (alarivit).  $N_{\text{tot}}$  = kokonaistyyppi,  $N_{\text{NO}_3}$  = nitraattityppi,  $N_{\text{NH}_4}$  = ammoniumtyppi.

Jakso	Typpipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1} \text{ N}$ ) vertailukäsittelystä			Typpipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1} \text{ N}$ ) lietalantakäsittelyistä		
	$N_{\text{tot}}$	$N_{\text{NO}_3}$	$N_{\text{NH}_4}$	$N_{\text{tot}}$	$N_{\text{NO}_3}$	$N_{\text{NH}_4}$
Ennen	1700	870	25	..	..	..
	650 – 3300	24 – 2200	5 – 120			
	17	17	10			
Käsittely	3800	2900	37	2400	1300	210
	1600 – 6100	890 – 5000	0 – 140	950 – 6100	380 – 3600	0 – 2900
	22	22	22	64	64	61
Jälkeen	1000	330	22	1500	430	46
	790 – 1800	52 – 750	3 – 57	550 – 3300	61 – 1600	3 – 380
	8	8	8	24	24	22

.. = tieto puuttuu.

#### 4.3.2 Salaojavedet

Ennen lietalannan levityksiä kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin pitoisuudet salaojavesissä olivat keskimäärin  $53 \mu\text{g l}^{-1} \text{ P}$  ja  $30 \mu\text{g l}^{-1} \text{ P}$  (taulukko 7). Lietalannan levitys kohotti hyvin selkeästi salaojavesien fosforipitoisuuksia: levitysjaksolla kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvo oli  $230 \mu\text{g l}^{-1} \text{ P}$  vertailukäsittelyn keskiarvon ollessa  $100 \mu\text{g l}^{-1} \text{ P}$ . Myös fosfaattifosforin ja liukoisen fosfaattifosforin pitoisuudet lietalantakäsittelyistä nousivat noin kaksinkertaisiksi vertailuruutujen pitoisuuksiin verrattuna (taulukko 7). Lietalannan käsittelyistä suurimmat salaojavesien  $P_{\text{tot}}$ -pitoisuudet mitattiin talvilevityksestä keväinä 1985 ja 1986. Suurin  $P_{\text{PO}_4}$ -pitoisuus oli keväällä 1985 talvilevityksestä.  $P_{\text{PO}_4\text{L}}$ -pitoisuuden maksimi havaittiin talvisesta lietalannoituksesta sille käsittelykaistalle, jolle oli levitetty lietalanta myös edellisenä syksynä. Lietalantakäsittelyjen salaojavesien kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelu oli hyvin suurta vertailukäsittelyn pitoisuuksien vaihteluun verrattuna (taulukko 7). Lietalannan levityksen vaikutusta salaojavesien fosforipitoisuuksissa jälkijaksolla ei havaittu, vaan vertailukäsittelyn salaojavesien pitoisuudet olivat jonkin verran suuremmat kuin vastaavat lietalannoitusruutujen salaojavesien pitoisuudet (taulukko 7).

Taulukko 7. Salaojavesien fosforipitoisuuksien ( $\mu\text{g l}^{-1}\text{ P}$ ) keskiarvot (ylärivit), vaihteluvälit (keskirivit) ja havaintojen lukumäärät (alarivit).  $P_{\text{tot}}$  = kokonaisfosfori,  $P_{\text{PO}_4}$  = fosfaattifosfori,  $P_{\text{PO}_4\text{L}}$  = liukoinen fosfaattifosfori.

Jakso	Fosforipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1}\text{ P}$ ) vertailukäsittelystä			Fosforipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1}\text{ P}$ ) lietalanta-käsittelyistä		
	$P_{\text{tot}}$	$P_{\text{PO}_4}$	$P_{\text{PO}_4\text{L}}$	$P_{\text{tot}}$	$P_{\text{PO}_4}$	$P_{\text{PO}_4\text{L}}$
Ennen	53	30	..	..	..	..
	13 - 120	8,8 - 76				
	80	76				
Käsittely	100	63	44	230	130	71
	29 - 140	23 - 170	28 - 56	46 - 1100	29 - 810	25 - 290
	94	93	34	274	266	92
Jälkeen	100	66	46	92	58	42
	33 - 270	27 - 190	11 - 110	24 - 240	14 - 160	9 - 830
	24	30	22	72	72	66

.. = tieto puuttuu.

Salaojavesissä typpipitoisuudet olivat ennen lietalantakäsittelyä kokonaistypen ( $N_{\text{tot}}$ ) osalta  $1100 \mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$ , nitraattitypen ( $N_{\text{NO}_3}$ ) osalta  $530 \mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$  ja ammoniumtypen ( $N_{\text{NH}_4}$ )  $22 \mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$  (taulukko 8). Lietalannan levitysaikana suurimmat kokonaistyppipitoisuudet,  $16000 \mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$ , ja ammoniumtyppipitoisuudet,  $5500 \mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$ , mitattiin keväällä 1986 talvilevityksen jälkeen ruuduilta, joita oli lietalannoitettu myös edellisenä syksynä. Typpiyhdisteiden pitoisuuksien vaihtelu oli huomattavasti suurempi lietalantakäsittelyruutujen salaojavesissä kuin vertailuruutujen salaojavesissä (taulukko 8). Ammoniumtypen keskipitoisuus lietekäsittelyjen salaojavesissä oli lähes kymmenkertainen vertailukäsittelyn pitoisuuskeskiarvoon verrattuna.

Taulukko 8. Salaojavesien typpipitoisuuksien ( $\mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$ ) keskiarvot (ylärivit), vaihteluvälit (keskirivit) ja havaintojen lukumäärät (alarivit).  $N_{\text{tot}}$  = kokonaistyyppi,  $N_{\text{NO}_3}$  = nitraattityppi,  $N_{\text{NH}_4}$  = ammoniumtyppi.

Jakso	Typpipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$ ) vertailukäsittelystä			Typpipitoisuus ( $\mu\text{g l}^{-1}\text{ N}$ ) lietalanta-käsittelyistä		
	$N_{\text{tot}}$	$N_{\text{NO}_3}$	$N_{\text{NH}_4}$	$N_{\text{tot}}$	$N_{\text{NO}_3}$	$N_{\text{NH}_4}$
Ennen	1100	530	22	..	..	..
	230 - 3300	40 - 2000	2,0 - 120			
	80	76	76			
Käsittely	4500	3500	52	5500	3500	480
	570 - 6600	340 - 5100	5,0 - 150	3901 - 6000	190 - 6500	4,5 - 5500
	96	92	92	288	280	284
Jälkeen	1800	1000	30	1600	740	23
	510 - 6300	19 - 5100	1,0 - 110	400 - 5300	25 - 3600	1,0 - 84
	24	24	22	72	72	64

.. = tieto puuttuu.

Lietalannoituksen päätyttyä kokonaistypen ja nitraattitypen suurimmat pitoisuudet mitattiin lietekäsittelyruutujen salaojavesistä kesällä 1987. Sen jälkeen pitoisuudet pienenevät nopeasti. Typpiyhdisteiden pitoisuuksien keskiarvot olivat jälkijaksolla suuremmat vertailukäsittelyn salaojavesissä kuin lietalantakäsittelyn vesissä (taulukko 8).

## 4.4 Huuhtoutumat

### 4.4.1 Pintavesihuuhtoutumat

Fosfori- ja typpiyhdisteiden huuhtoutumat pintavesissä olivat vähäiset (taulukko 9) verrattuna salaojahuuhtoutumiin (kuvat 3a-c, 4a-c). Pintavesihuuhtoutumien osuus oli kalibrintijaksolla fosforin ja fosfaattifosforin kokonaishuuhtoutumista alle prosentista noin 10 %:iin, ja käsittelyjaksolla sekä sen jälkeen noin yhdestä viiteen prosenttiin. Typpiyhdisteiden huuhtoutuminen pintavesien mukana oli vielä vähäisempää: se vaihteli tutkimuksen aikana alle prosentista noin neljään prosenttiin kokonaishuuhtoutumista.

### 4.4.2 Huuhtoutumat salaojavesiin

#### 4.4.2.1 Fosfori

Kalibrintijaksolla (nurmi vuosina 1983 – 1984) fosforihuuhtoutumat salaojavesissä vaihtelivat kokonaisfosforin osalta 0,38 – 0,72 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P ja fosfaattifosforin osalta 0,17 – 0,44 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P (kuva 3a). Suurin osa huuhtoutumasta tuli kevään eli maaliskuuhun aikana (liite 4). Keskimääräiset huuhtoutumat nurmelta v. 1983 – 1984 olivat kokonaisfosforin osalta 0,53 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P ja fosfaattifosforin osalta 0,28 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P.

Lokakuussa 1984 lietelantaa levitettiin ensimmäisen kerran, ja vuoden kokonaisfosforihuuhtoutuma oli suurin näiltä syyslevitysruduilta (0,89 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P, kuva 3a). Talvilevitys aiheutti kaikkina käsittelyvuosina suurimmat huuhtoutumat, suurimmillaan vuosihuuhtoutumina jopa 2,6 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P kokonaisfosforia ja 1,5 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P fosfaattifosforia (kuva 3b). Yleensä syys- ja kevätlevityksestä aiheutuvat fosforin vuosihuuhtoutumat olivat selvästi pienemmät kuin talvilevityksessä. Poikkeuksena oli vuosi 1986, jolloin syyslevityksen ruuduille levitettiin myös talvella lietelantaa. Tästä johtui lähes talvilevityksen aiheuttamien huuhtoutumien suuruinen ravinteiden huuhtoutuminen sekä suurin tutkimuksessa todettu liukoisen fosfaattifosforin huuhtoutuma, 0,77 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P (kuva 3b).

Eri lannoituskäsittelyjen vaikutukset fosfori- ja fosfaattifosforihuuhtoutumiin eri vuosina ja eri vuodenaikoina erosivat tilastollisesti erittäin merkittävästi toisistaan toistettujen mittausten varianssianalyysin perusteella (liite 6, 7); ts. havaittiin erittäin merkitsevä tai merkitsevä yhdysvaikutus huuhtoutumien, vuoden, vuodenaikojen ja käsittelyjen kesken. Eri käsittelyjen aiheuttamia huuhtoutumia tarkasteltiin vuosittain ja vuodenajoittain kevät- ja syyshuuhtoutumien perusteella.

Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin huuhtoutumat syksyllä 1984 olivat suurimmat syyslevityksestä (liite 4). Vertailukäsittelyn ja syyslevityksen fosforihuuhtoutumat erosivat toisistaan parittaisessa vertailussa (Dunnettin testi, merkitsevyystaso  $\alpha = 0,05$ ). Keväällä 1985 käsittelyjen väliset huuhtoutumat erosivat toisistaan erittäin merkittävästi. Tällöin talvilevityksen aiheuttamat kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin huuhtoutumat olivat suuremmat kuin vertailukäsittelyn aiheuttamat huuhtoutumat (liite 4). Erot olivat tilastollisesti erittäin merkitsevät (liite 6, 7).

Taulukko 9a. Fosforihuuhtoutumat (P kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) pintavesissä vuosina 1983 – 1988.

Vuosi Käs.	Kokonaisfosfori (kok. P)				Fosfaattifosfori (PO <sub>4</sub> -P)				Liuk.fosfaattifosfori (liuk. PO <sub>4</sub> -P)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1983	0,084	0,0076	0,0070	0,0039	0,062	0,0030	0,0015	0,0011	..	..	..	..
1984	0,021	0,0064	0,0074	0,014	0,0075	0,0017	0,0022	0,0039	..	..	..	..
1985	0,014	0,0077	0,033	0,039	0,0074	0,0041	0,025	0,030	..	..	..	..
1986	0,00055	0,0012	0,00087	0,00052	0,00030	0,00052	0,00072	0,00023	0,00026	0,00046	0,00069	0,00021
1987	0,0030	0,0045	0,0061	0,0038	0,0019	0,0028	0,0047	0,0025	0,00079	0,00086	0,0017	0,00072
1988	0,050	0,016	0,025	0,0050	0,024	0,011	0,016	0,0031	0,018	0,0085	0,010	0,0022

Taulukko 9b. Typpihuuhtoutumat (N kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) pintavesissä vuosina 1993 – 1988.

Vuosi Käs	Kokonaistyyppi (kok. N)				Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)				Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1983	0,44	0,062	0,072	0,071	0,11	0,20	0,035	0,037	0,12	0,0069	0,0027	0,0040
1984	0,21	0,085	0,050	0,080	0,12	0,047	0,020	0,024	0,0051	0,005	0,0020	0,0036
1985	0,24	0,11	0,31	0,49	0,20	0,066	0,068	0,26	0,0063	0,0062	0,14	0,072
1986	0,053	0,038	0,028	0,023	0,042	0,028	0,015	0,014	0,00011	0,00014	0,0019	0,00045
1987	0,077	0,050	0,082	0,042	0,049	0,026	0,052	0,023	0,00074	0,0011	0,0027	0,00079
1988	0,19	0,11	0,16	0,057	0,062	0,033	0,074	0,023	0,012	0,0098	0,0080	0,0040

Käsittely: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

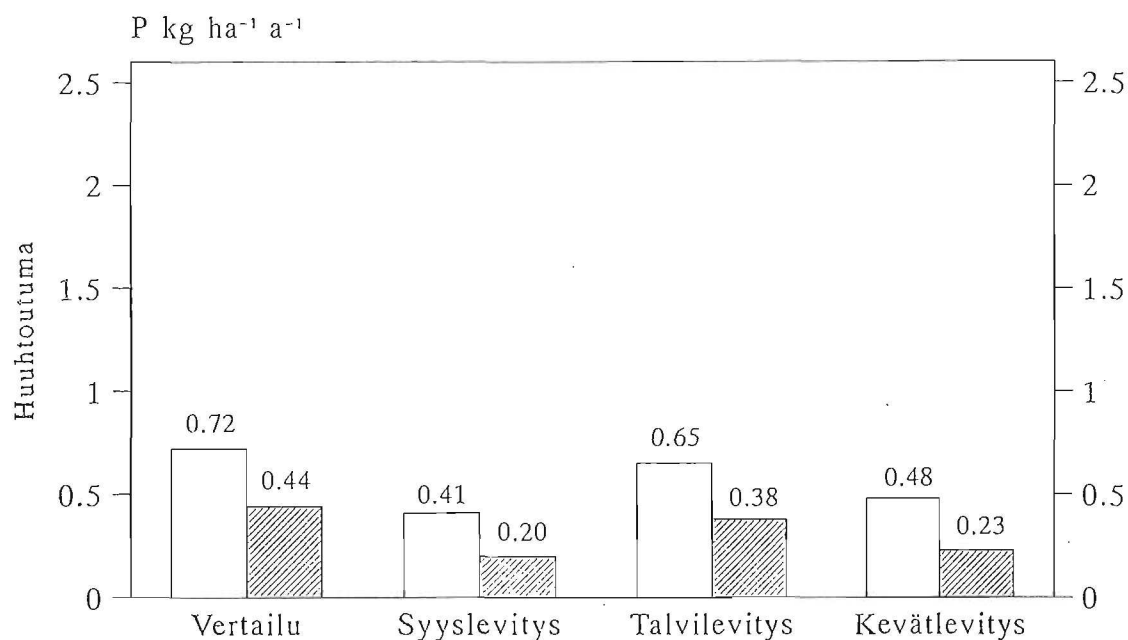
Va = vuodenaika; talvi kk:t 1, 2 ja 12, kevät kk:t 3 – 5, kesä kk:t 6 – 9, syksy kk:t 10 – 11.

.. = ei havaintoja

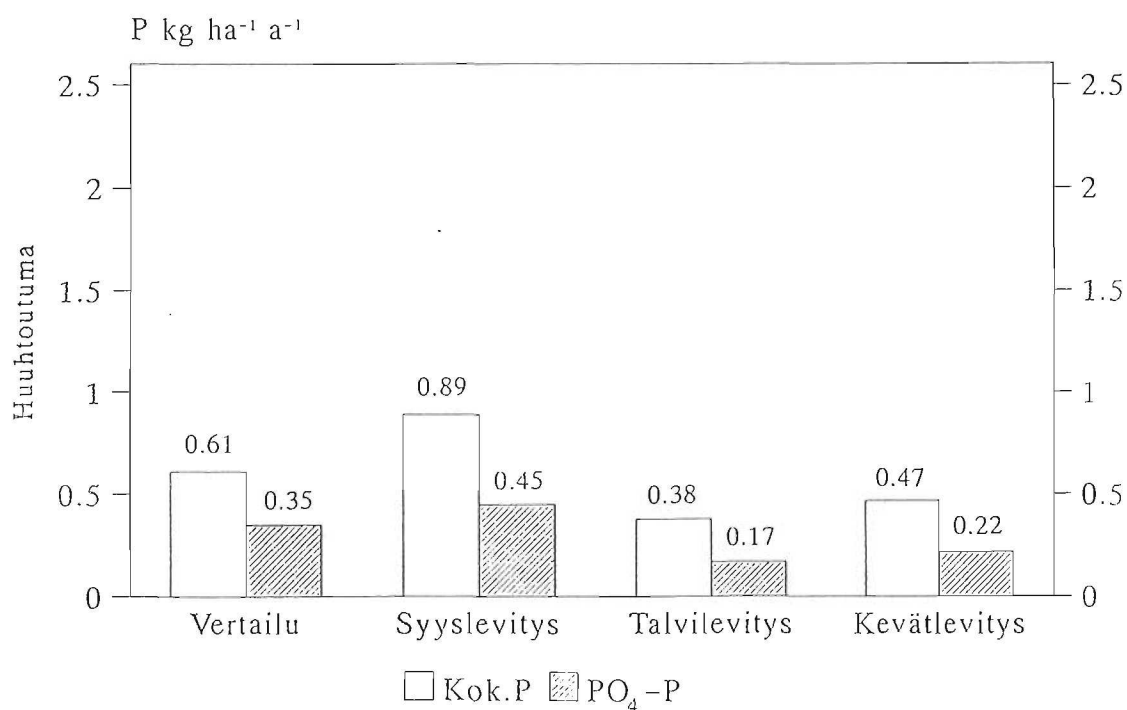


Kevään 1986 kokonaisfosforihuuhtoutumat erosivat tilastollisesti merkitsevästi vertailun ja syyslevityksen sekä vertailun ja talvilevityksen välillä (liite 6). Syyslevityskaistalle tehty talvinen lietelannan levitys ja varsinainen talvilevitys aiheuttivat suurimmat huuhtoutumat (liite 4). Fosfaattifosforihuuhtoutumat keväällä 1986 erosivat sen sijaan vain vertailun ja talvilevityksen välillä (liite 7). Kevään 1987 kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin huuhtoutumien ero oli merkitsevä vertailun ja talvilevityksen kesken (liite 6, 7).

### Fosforihuuhtoutuma 1983 Salaojavedet

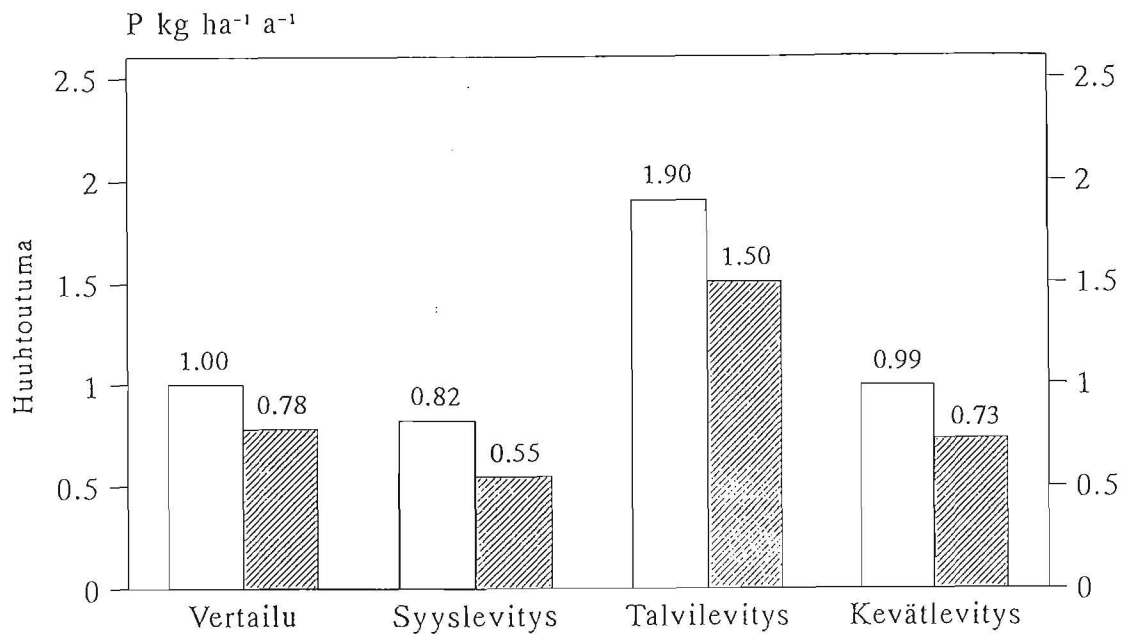


### Fosforihuuhtoutuma 1984 Salaojavedet

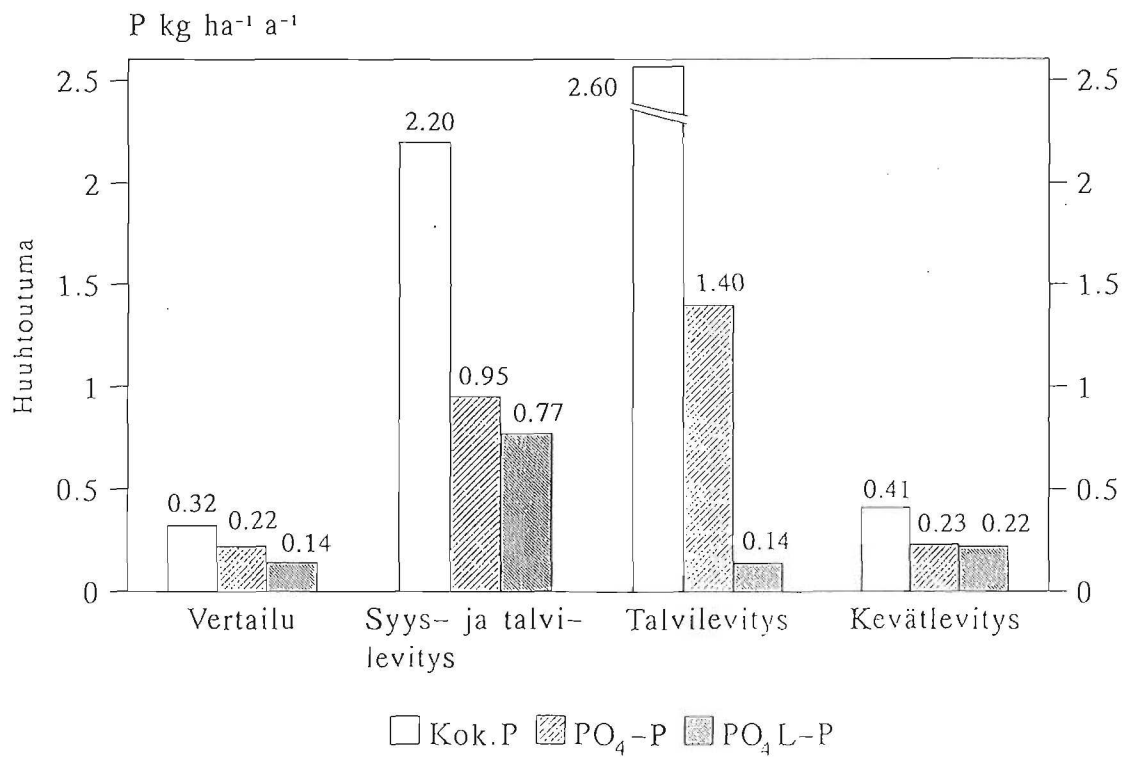


Kuva 3a. Fosforihuuhtoutumat (P kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) salaojavesissä vuosina 1983 ja 1984.

Fosforihuuhtoutuma 1985  
Salaojavedet



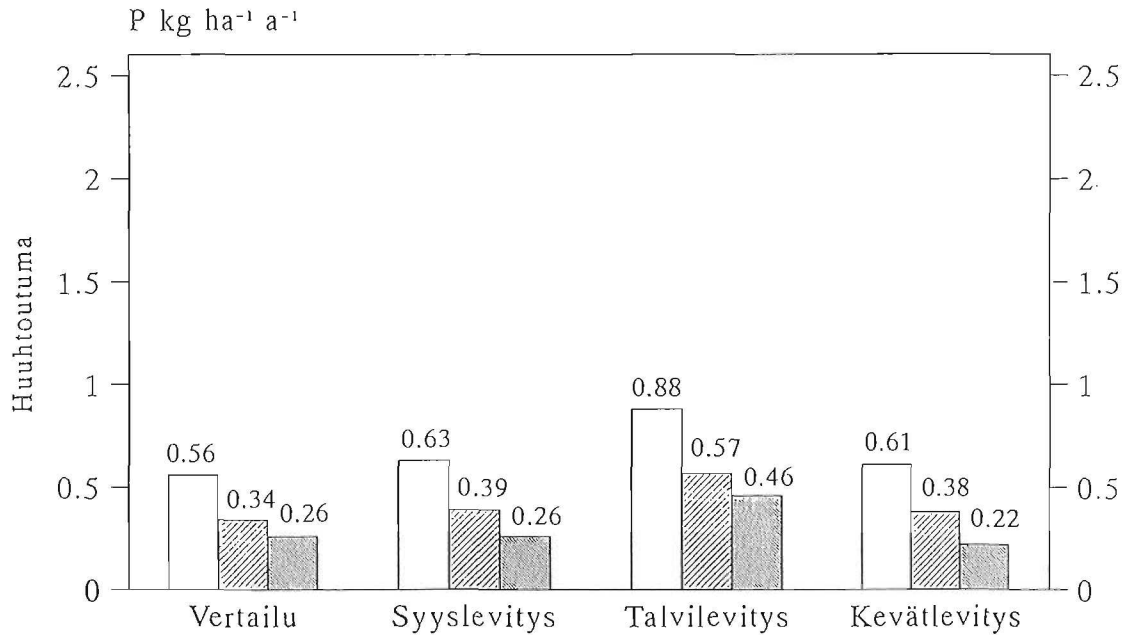
Fosforihuuhtoutuma 1986  
Salaojavedet



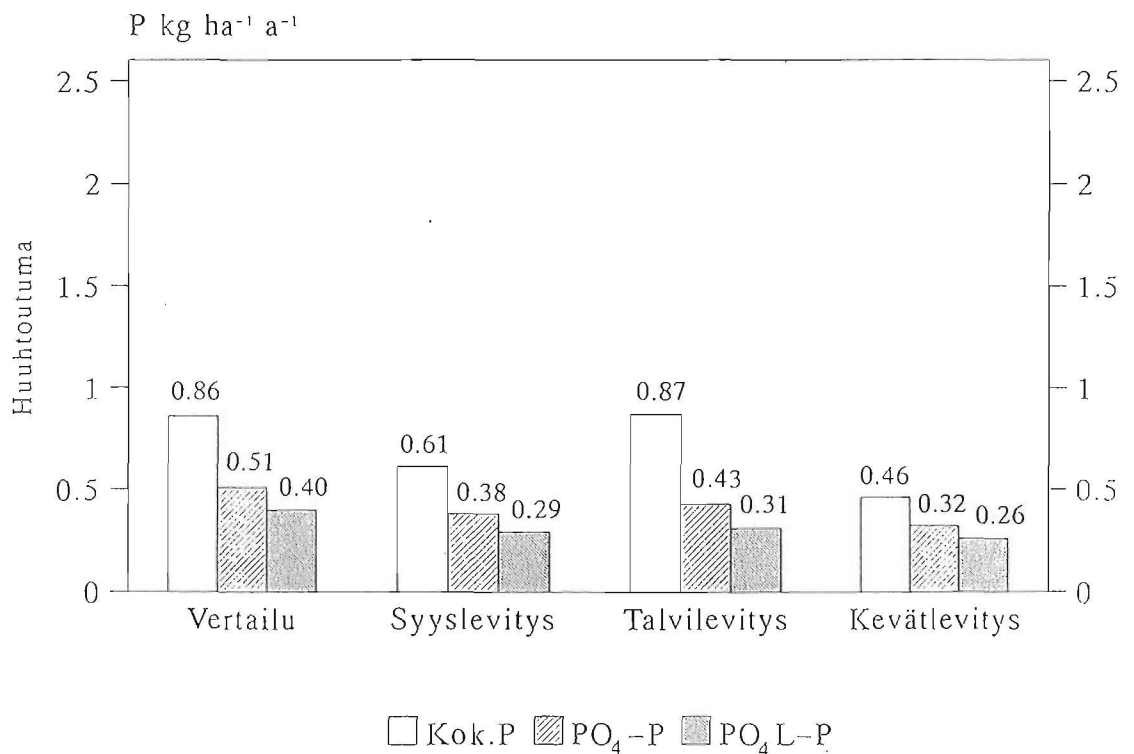
Kuva 3b. Fosforihuuhtoutumat (P kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) salaojavesissä vuosina 1985 ja 1986.

Seurantajaksolla kokonaisfosforia huuhtoutui eniten vertailu- ja talvilevityksruuduilta, 0,86 ja 0,87 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P (kuva 3c). Kokonaisfosforia huuhtoutui kevätlevityksen jälkivaikutuksena vähiten, 0,46 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> P. Myös fosfaattifosforin ja liukoisen fosfaattifosforin huuhtoutumat olivat pienimmät kevätlevityksen jälkeen. Suurimmat fosforihuuhtoutumat mitattiin vertailukäsittelystä jälkijaksolla (kuva 3c).

### Fosforihuuhtoutuma 1987 Salaojavedet



### Fosforihuuhtoutuma 1988 Salaojavedet



Kuva 3c. Fosforihuuhtoutumat (P kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) salaojavesissä vuosina 1987 ja 1988.

## 4.4.2.2 Typpi

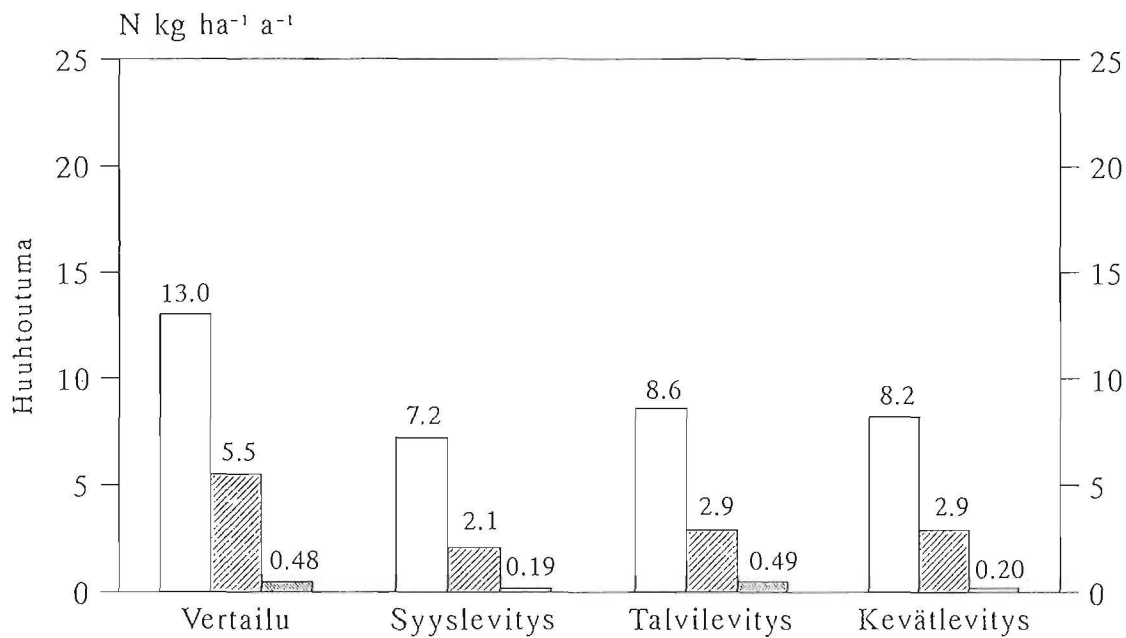
Kalibrointijaksolla typpihuuhtoutumat vaihtelivat seuraavasti: kokonaistyyppi ( $N_{tot}$ ) välillä  $4,8 - 13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ , nitraattityppi ( $N_{NO_3}$ ) välillä  $1,1 - 5,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  ja ammoniumtyppi ( $N_{NH_4}$ ) välillä  $0,16 - 0,49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  (kuva 4a). Suurin osa huuhtoutumasta tuli kevään aikana (liite 5). Keväällä 1984 kokonaistypen ja nitraattityypin huuhtoutumat olivat suurimmat vertailukäsittelyyn varatuilla ruuduilla muuhun kenttään nähden. Erot olivat tilastollisesti merkitsevät tai erittäin merkitsevät (liite 8, 9). Ensimmäinen lietelannan levitys syksyllä 1984 näkyi selkeästi kokonaistypen, nitraattityypin ja ammoniumtypen syyshuuhtoutumien nousuna (liite 5). Tämä lietelantakäsittely nosti ammoniumtypen vuosihuhtoutuman arvoon  $0,77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  eli 3 – 5 -kertaiseksi verrattuna muihin mitattuihin huuhtoutumiin (kuva 4a). Vertailun ja syyslevityksen ammoniumtyppihuuhtoutumien ero oli tilastollisesti merkitsevä (liite 10).

Lietelantakäsittelyjen seurauksena vuosihuhtoutumat vaihtelivat kokonaistypen osalta välillä  $9,2 - 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ , nitraattityppi vaihteli välillä  $2,7 - 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  ja ammoniumtypen huuhtoutuma oli välillä  $0,11 - 11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  (kuva 4b, 4c). Talvilevitys aiheutti suurimmat ammoniumtypen vuosi- ja vuodenaikaishuuhtoutumat käsittelyvuosina (liite 5). Kokonaistypen vuosihuhtoutuma oli suurin talvisesta lietelannan levityksestä ruuduilta, joille oli edellisenä syksynä levitetty lietelantaa (kuva 4b). Nitraattityypin vuosihuhtoutuma oli suurin syyslevityksestä vuosina 1986 ja 1987, ja vuonna 1985 kevätlevityksestä. Vertailukäsittelyn huuhtoutumat vaihtelivat vuosina 1984 – 1987 kokonaistypen osalta välillä  $12 - 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ , nitraattityypin huuhtoutuma vaihteli välillä  $7,8 - 17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  ja ammoniumtypen huuhtoutuma oli välillä  $0,092 - 0,60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$  (kuva 4a, 4b, 4c).

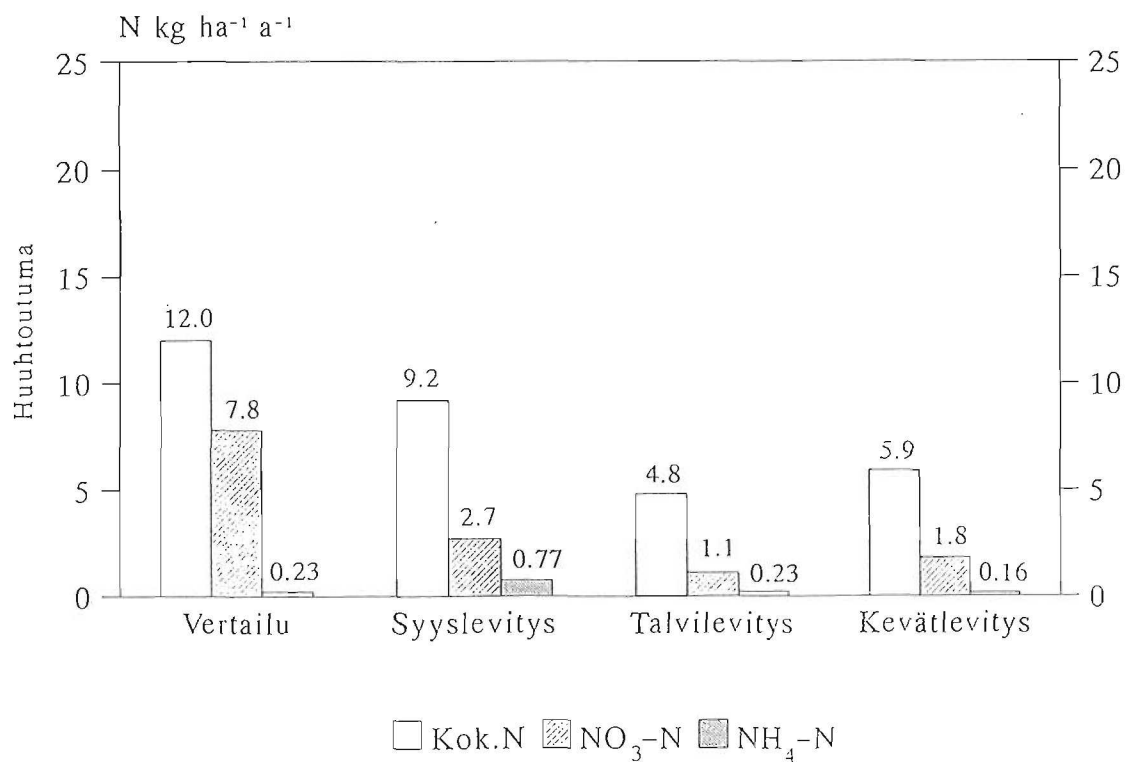
Talvella 1986 syyslevitysruduille tehdyn lietelannan levityksen aiheuttamat nitraattityypin seuraavan kevään huuhtoutumat olivat suuremmat kuin vertailun (liite 5). Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (liite 4). Tällöin myös vertailun ja talvilevityksen ammoniumtyppihuuhtoutumien ero oli tilastollisesti merkitsevä talvilevityksen aiheuttaessa suuremman huuhtoutuman (liite 5). Kokonaistyyppiä huuhtoutui keväällä 1986 kummastakin talvisesta lietelantakäsittelystä vertailua enemmän. Syksyllä 1986 todettiin tilastollisesti erittäin merkitsevä ero vertailun vs. syyslevityksen välillä kokonaistypen ja nitraattityypin huuhtoutumissa (liite 3, 4): syyslevityksen huuhtoutumat olivat suurimmat. Kevään 1987 nitraattityppihuuhtoutumien parittainen vertailu osoitti, että vertailun ja kevätlevityksen sekä vertailun ja talvilevityksen nitraattihuuhtoutumat erosivat toisistaan ( $\alpha = 0,05$ ) vertailun huuhtoutuman ollessa suurempi. Talvilevitys aiheutti vertailukäsittelyä merkittävästi suuremman ammoniumtypen huuhtoutuman keväällä 1987 (liite 5).

Lietelantakäsittelyjen jälkeen typpiyhdisteiden huuhtoutumat lieteruuduilta olivat suurimmat talvilevityksestä ja pienimmät kevätlevityksestä (kuva 4c). Vertailukäsittelyn typpihuuhtoutumat olivat suuremmat kuin lietelantakäsittelyjen jälkeen mitatut huuhtoutumat.

Typpihuuhtoutuma 1983  
Salaojavedet

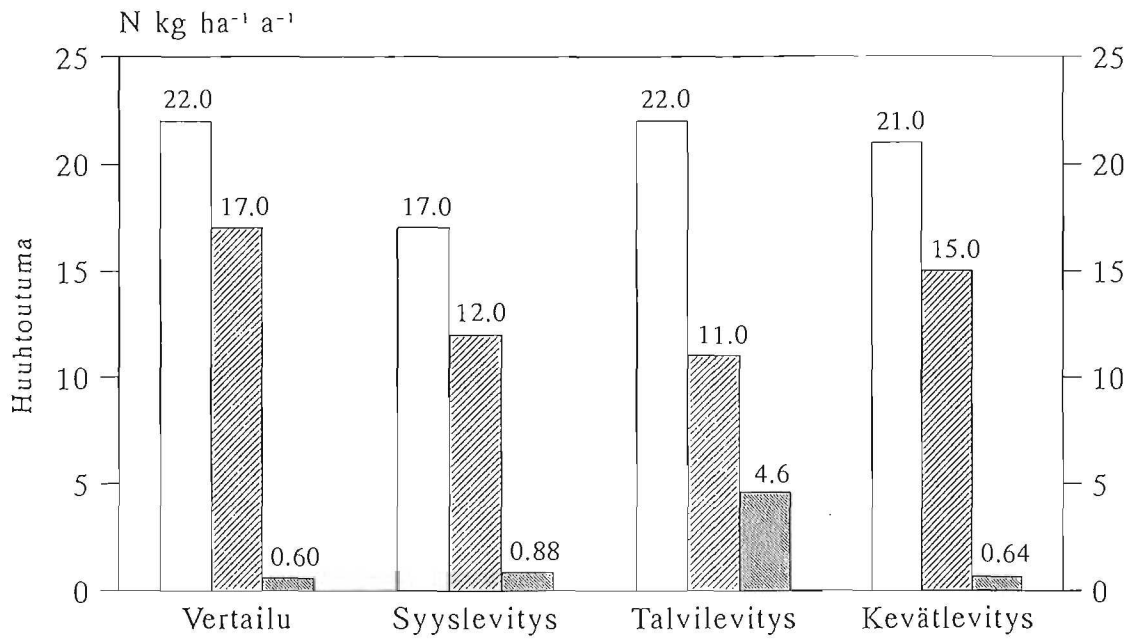


Typpihuuhtoutuma 1984  
Salaojavedet

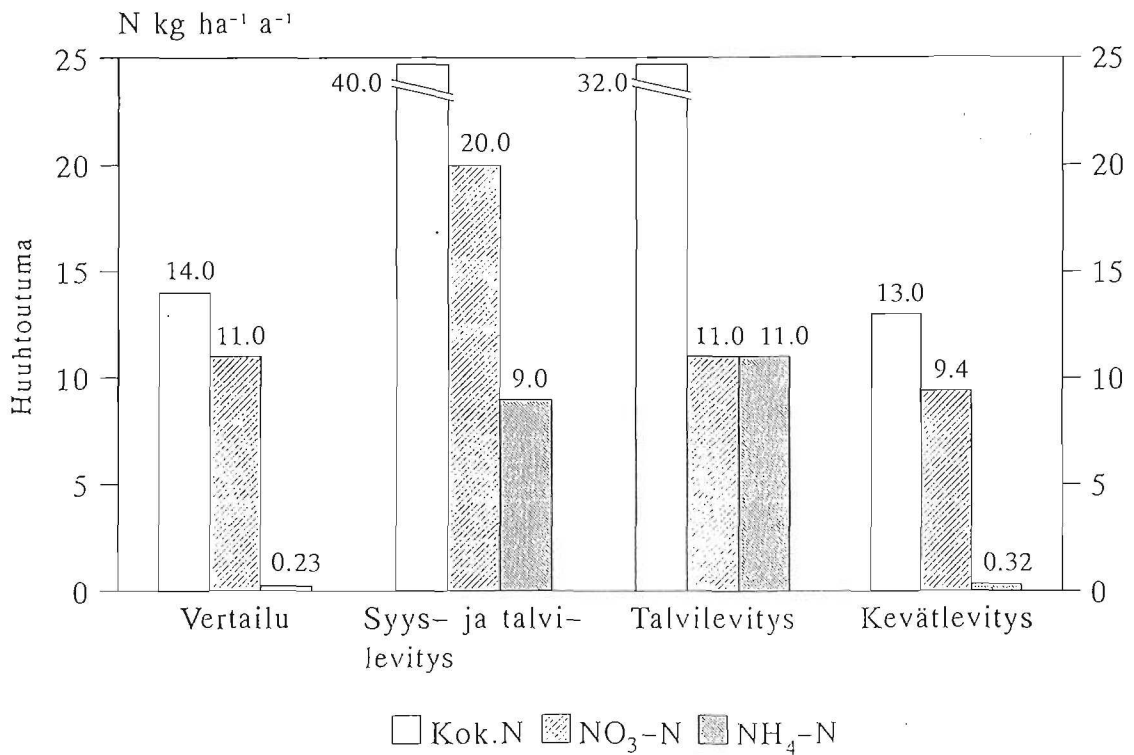


Kuva 4a. Typpihuuhtoutumat (N kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) salaojavesissä vuosina 1983 ja 1984.

# Typpihuuhtoutuma 1985 Salaojavedet



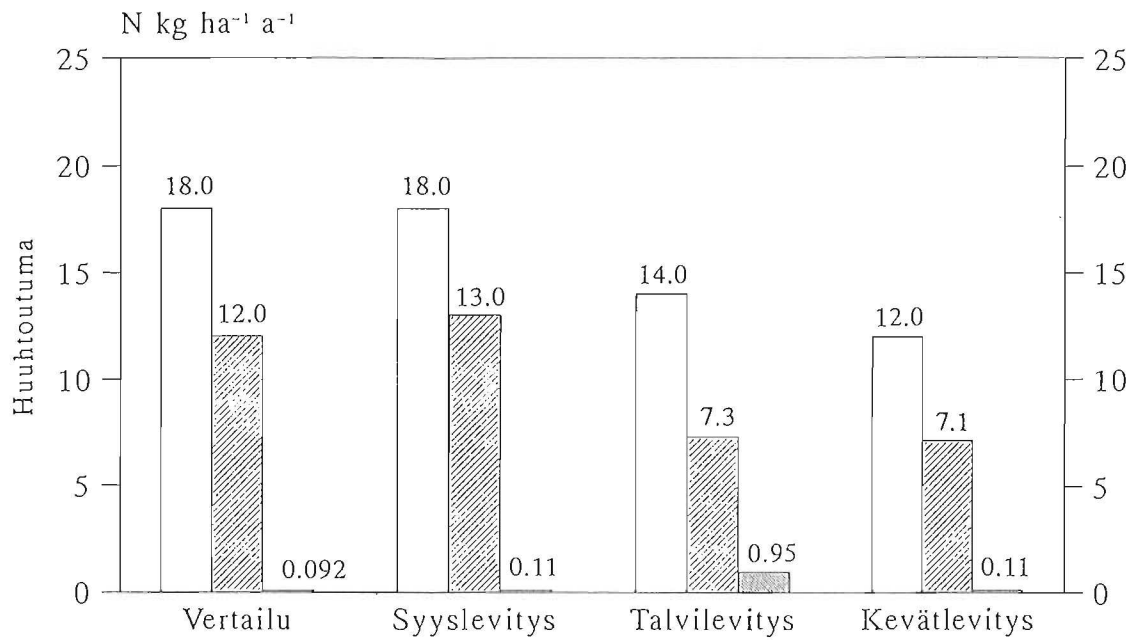
# Typpihuuhtoutuma 1986 Salaojavedet



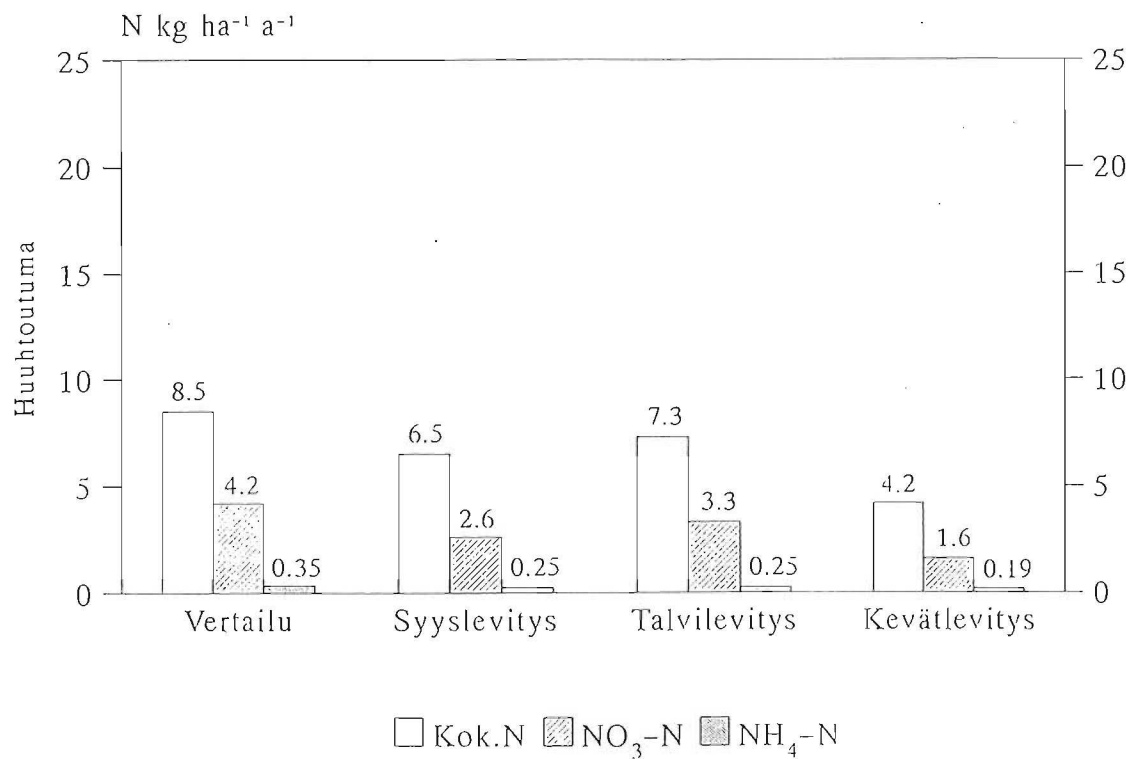
Kuva 4b. Typpihuuhtoutumat (N kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) salaojavesissä vuosina 1985 ja 1986.



Typpihuuhtoutuma 1987  
Salaojavedet



Typpihuuhtoutuma 1988  
Salaojavedet



Kuva 4c. Typpihuuhtoutumat ( $N \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) salaojavesissä vuosina 1987 ja 1988.

## 4.4.2.3 Keskimääräiset ravinnehuuhtoutumat käsittelyaikana

Lietelannan levitys talvella aiheutti vuosien 1984 – 1987 keskiarvona suurimmat kokonaisfosforin ( $1,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ), fosfaattifosforin ( $0,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ) ja ammonium-typen ( $4,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ ) huuhtoutumat (kuva 5, 6). Syksyinen lietelannan levitys aiheutti lietelantakäsittelyistä suurimmat kokonaistypen ( $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ ) ja nitraattityypen ( $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ ) huuhtoutumat ja vuosien 1986 – 1987 keskiarvona suurimmat liukoisen fosfaattifosforin ( $0,52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ) huuhtoutumat. Syyslevityksen huuhtoutumia nosti ylimääräinen lietelannoitus talvella 1986.

Pienimmät ravinteiden keskimääräiset huuhtoutumat lietelantakäsittelyistä aiheutuivat keväällä ennen kylvöä tehdystä levityksestä lukuunottamatta nitraattityypen huuhtoutumaa, joka oli pienin talvilevityksestä (kuva 6). Keväisen lietelannan levityksen aiheuttamat fosforihuuhtoutumat olivat samansuuruiset vertailukäsittelyn kanssa,  $0,62 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  kokonaisfosforia ja noin  $0,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  fosfaattifosforia.

Eri käsittelyjen vaikutuksia voidaan tarkastella myös vertaamalla lannoituksessa annettuja ja huuhtoutuneita ravinnemääriä. Huuhtoutumaprosentit on laskettu kokonaisfosforille ( $P_{\text{tot}}$ ) ja kokonaistypelle ( $N_{\text{tot}}$ ). Ne on laskettu kullekin käsittelylle summamallalla salaojavesihuuhtoutuma käsittelykerrasta toiseen, ja laskemalla tämän osuus käsittelyvuonna annetusta ravinnemäärästä.

Taulukko 10. Kokonaisfosforin ja kokonaistypen huuhtoutumat (%) käsittelyvuosina 1984 – 1987<sup>1)</sup>.

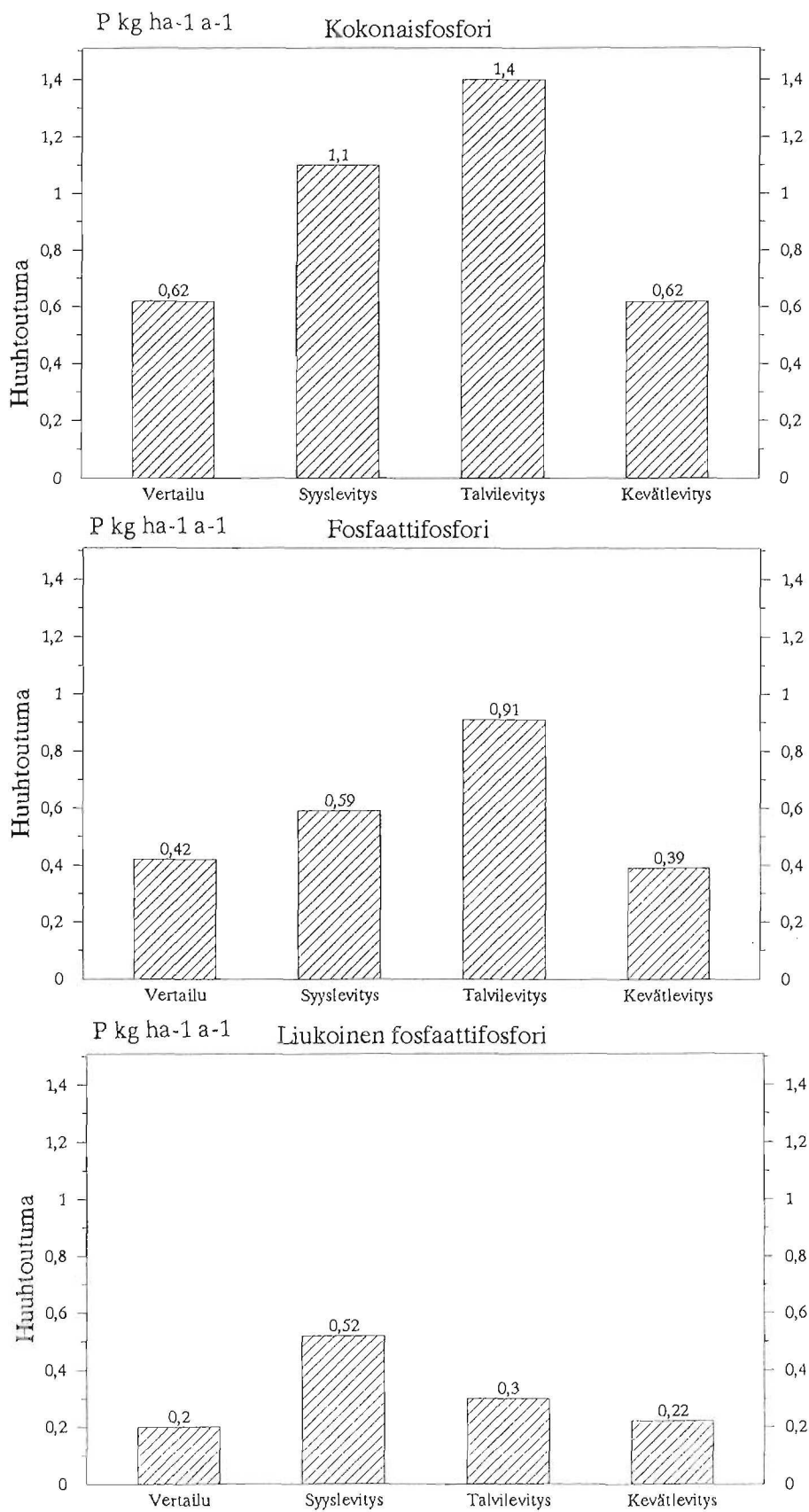
Käsittely	Huuhtoutumat (%)			
	Kokonaisfosfori ( $P_{\text{tot}}$ )		Kokonaistyyppi ( $N_{\text{tot}}$ )	
	Keski-arvo	Vaihteluväli	Keski-arvo	Vaihteluväli
Vertailu	1,6	1,1 – 2,6	20	17 – 23
Syyslevitys 1984–1985 <sup>2)</sup>	8,0		14	
Syyslevitys, 1985–1987 <sup>3)</sup>	7,3	6,1 – 8,5	23	19 – 27
Talvilevitys	13	4,0 – 25	22	11 – 41
Kevätlevitys	2,3	1,8 – 2,9	9,2	6,5 – 11

<sup>1)</sup> Käsittelyvuodet ovat vuoden pituiset jaksot seuraavasti: vertailukäsittelyssä kevät 1984 – talvi 1985, kevät 1985 – talvi 1986 jne., lietelannan syyslevitys syksy 1984 – kesä 1985 jne., lietelannan talvilevitys talvi 1985 – syksy 1986 jne., ja lietelannan kevätlevitys kevät 1985 – talvi 1986 jne.

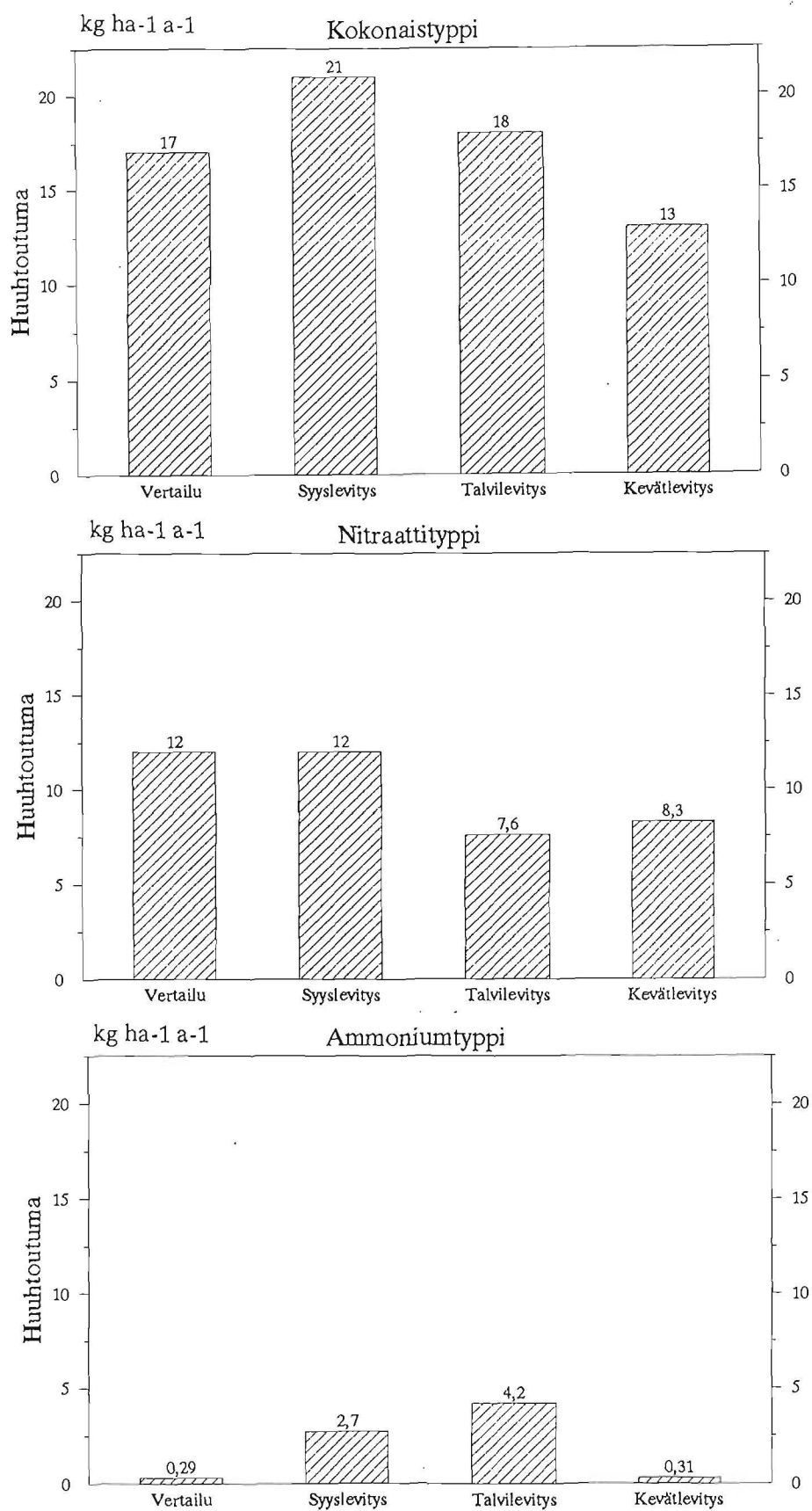
<sup>2)</sup> Syksyn 1984 levityksestä laskettu.

<sup>3)</sup> Tulokset syksy 1985 – kesä 1986 ja syksy 1986 – kesä 1987, mukana syyslevityskaistan ylimääräinen lietelanta-annos talvella 1986.

Eniten fosforia ja typpeä huuhtoutui lietelannan talvilevityksestä, vähiten kevätlevityksestä (taulukko 10). Syyslevitysruduilta ensimmäisenä vuonna (syksy 1984 – kesä 1985) huuhtoutui lietelannan kokonaistypistä 14 %. Keskimäärin syyslevityksestä huuhtoutui yli 20 % käsittelyvuoden kuluessa. Syyslevityksestä aiheutui yhtä suuri tyyppihuuhtoutuma kuin talvilevityksestä, johon vaikutti ylimääräinen lietelanta-annos talvella 1986. Fosforia huuhtoutui talvilevityksestä lähes kaksinkertainen määrä syyslevitykseen verrattuna.



Kuva 5. Keskimääräiset fosforihuuhtoutumat ( $P \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) salaojavesissä v. 1984–87.



Kuva 6. Keskimääräiset tyyppihuuhtoutumat ( $\text{N kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) salaojavesissä v. 1984–87.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Valunta

Vuosivalunta vaihteli tutkimusjaksolla Liperin koekentältä välillä 320 – 730 mm. Vuotuinen sadanta oli 590 – 740 mm vastaavana aikana. Vuosivalunta ylitti Liperin kentällä vuonna 1984 sadannan 100 mm:llä (45 mm:llä ilman vertailuruutuja) ja vuonna 1988 15 mm:llä. Vuoden 1983 valunta oli lähes sadannan suuruinen. Myös vuosien 1978 – 1982 tutkimuksessa todettiin runsassateisina vuosina suuria valumia: suurin vuosivaluma oli  $34 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  (Melanen ym. 1985). Etelä-Suomessa keskimääräinen sadanta on yleensä noin  $650 \text{ mm a}^{-1}$ . Sadannasta noin puolet haihtuu ja noin puolet on valuntaa maa-alueilta. Näin ollen Liperin koekentälle tulee etenkin märkinä aikoina liikaa vettä. Suurten valumien aiheuttajina olivat Melasen ym. (1985) mukaan poikkeukselliset hydrologiset olot (sadanta vuonna 1980 – 1981 yli 800 mm), veden tulviminen kentälle kentän viereisestä avo-ojasta sekä pohjaveden pinnan kapillaarisesta noususta johtuva veden kulkeutuminen salaojiin. Yhtenä syynä saattoi olla myös salaojituksen valuntoja lisäävä vaikutus. Hovin alueella Seuna ja Kauppi (1981) havaitsivat salaojituksesta aiheutuvan 18 % kasvun vuosivalunnassa välittömästi salaojituksen jälkeisinä vuosina. Liperin kentän salaojitus tehtiin vuonna 1976, ja sillä tuskin enää oli vuosina 1983 – 1988 kovin paljoa valuntaa lisäävää merkitystä.

Liperin koekentän läheisyydessä sijaitsevat Kesselinpuron sekä Kuokkalanojan pienet valuma-alueet (peltoa 4 % ja 21 %). Niiden vuosien 1983 ja 1988 valumat vaihtelivat välillä  $10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  –  $13,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  (Vesi- ja ympäristöhallitus 1987, 1991). Näitä suurempia arvoja esiintyy alueilla kerran 10 vuodessa (Seuna 1982). Vuoden 1984 valumat puolestaan olivat lähellä normaaliarvoja (Vesi- ja ympäristöhallitus 1990).

Vuonna 1983 sademäärä Liperissä, 740 mm oli lähes 140 mm normaalijakson sadantaa suurempi, mikä luonnollisesti suurensi myös valuntaa. Kentän suureen valuntaan vuosina 1983, 1984 ja 1988 saattoivat olla vaikuttamassa Melasen ym. (1985) esittämien tekijäin ohella roudan ja lumipeitteen vaihtelut sekä kentän maaperän rakenteen vaihtelu eri osissa kenttää. Auran (1990) mukaan salaojaston toiminnassa kriittisin ajankohta Suomessa on yleensä kevät tai syksy, jolloin savimaa kosteana on paisuneessa tilassa ja maan vedenläpäisykyvyllä on pienin arvo. Vesi liikkuu tällaisessa savimaassa lähinnä halkeamissa, lierojen tekemissä rei'issä ja juurikanavissa. Keväisin ja sateisina kesinä sekä rankkasateiden jälkeen Liperin kentällä on joskus havaittu runsaasti vettä. Auran (1990) mukaan kosteankin pellon tulisi pystyä varastoimaan tilapäisesti useita kymmeniä millimetrejä sadevettä. Jos kostealla maalla ei ole tätä varastoimiskykyä, vettä kertyy helposti maan pinnalle.

Keväällä 1985 salaojavalunta kevätlevityksestä oli muita käsittelyjä suurempi, keväällä 1988 puolestaan vertailukäsittelyn valunnat olivat muita käsittelyjä suuremmat. Ko. käsittelyruutujen muuta kenttää suurempi lumen vesiarvo maaliskuun lopussa vaikutti ilmeisesti osittain valuntaa suurentaen. Samansuuntainen vaikutus lience ollut kohtalaisella roudalla, joka on voinut edistää veden kulkeutumista pintavaluntana myös kentän ulkopuolelta (vrt. Melanen ym. 1985). Viereiset alueet olivat tavanomaisessa viljelyssä, joten niiltä tullut vesi ei todennäköisesti ollut kentän vettä kuormittuneempaa.

Liperin kentällä roudattomia olivat vuodet 1983 ja 1984. Enimmillään routaa tarkastelu-jaksolla havaittiin 31.3.1987, jolloin roudan syvyys oli keskimäärin 46 cm (vaihtelu 26 – 63 cm). Keskimääräinen arvo vastaa melko hyvin havaittua avoimen alueen roudan maksimisyvyyttä keskiosissa Suomea vuosina 1955– 1975 (Maaninka 54 cm, Heinävesi 42 cm; Soveri ja Varjo 1977).

Lumen syvyys on keskiosissa Suomea maaliskuun puolivälissä keskimäärin 50 – 70 cm (Kuusisto 1984). Liperin kentällä keskimääräinen lumen syvyys maaliskuun puolivälissä – maaliskuun lopussa vuosina 1984 – 86 ja 1988 vastasi keskimääräistä arvoa, sen sijaan vuonna 1987 lunta oli keskimääräistä vähemmän. Lumen syvyydessä todettiin kentän sisälläkin eroja: suurimmat erot, 16 ja 25 cm, mitattiin 21.3.1985 ja 1.4.1986. Nämä johtuivat mitä ilmeisimmin lumen erilaisesta kinostumisesta havaintorakennukseen nähden riippuen lumi- ja tuuliolojen vaihtelusta. Vuosien 1983 – 88 suurin keskimääräinen lumen vesi-arvo, 227 mm, havaittiin maaliskuun lopussa 1984. Se on pienempi kuin alueella kerran 20 vuodessa toistuva lumen vesi-arvon maksimi, 245 mm (Perälä ja Reuna 1990). Maaliskuun lopussa 1986 lumi oli osittain kinostuneena havaintorakennusta lähellä oleville ruuduille (5, 9 ja 17). Myös lumen vesi-arvon maksimit olivat ko. ruuduilla sekä ruudulla 12 suuret vaihdellen välillä 185 mm – 269 mm. Tämä selittää osittain kevään 1986 valumien suuruuden syyslevitysruduilta (eli ruuduilta 9 – 12) muuhun kenttään verrattuna.

Vuosien 1983 – 1988 valunnasta suurin osa tuli salaojien kautta. Pintavesivalunnan osuus oli vain 2 – 15 %. Aikaisemmalla tutkimusjaksolla pintavalunnan osuus oli 10 – 20 % (Melanen ym. 1985). Kevään valunnat muodostivat noin 60 – 80 % salaojavälunnoista ja 70 – 96 % pintavalunnasta, vuosina 1986 – 1987 kuitenkin noin 35 – 67 %. Aiemmassa tutkimuksessa pintavesistä tuli keväällä nyt mitattua suurempi osuus, 83 – 97 % (Melanen ym. 1985). Jokioisissa savimaalla sijaitsevalla Kotkanojan koekentällä pintavalunnan osuus on ollut selvästi suurempi kuin Liperissä johtuen ilmeisesti Jokioisten kentän suuremmasta kaltevuudesta (Turtola ja Jaakkola 1985). Vihdissä Hovin savimaan peltovaluma-alueella (kaltevuus 2,8 %) pintavalunnan osuus oli 23 % vuosina 1972 – 1978 (Seuna ja Kauppi 1981).

Hovin alueella happi-18-isotooppitutkimuksen perusteella alkuperältään pintavettä olevan valunnan osuus oli kuitenkin noin 75 % lumen sulamisaikana 27.3. – 13.4.1988, vaikka suuri osa siitä tulikin salaojien kautta (Bengtsson ym. 1992).

Pintavaluntaa muodostuu yleensä, kun lumensulamisesta tai sateesta (tai kummastakin) kertyy vettä maan vedenläpäisykyvyn ylittävä määrä. Suomen oloissa ja Pohjoismaissa vaikuttaa myös routa suuresti pintavesivaluntaan, esim. Seuna ja Kauppi (1981) havaitsivat Hovin peltovaluma-alueella vuosittain suurta pintavalunnan osuuden vaihtelua. Pintavalunnan osuus oli suuri vain sulamisaikana ja erityisesti silloin, jos routa oli tiivistä ja sitä oli runsaasti. Uhlen (1989a) puolestaan havaitsi Åsissa talven valunnasta 87 % tulevan pintavaluntana, kun koko vuonna sen osuus oli 44 %.

Roudan syvyys on voinut myös vaikuttaa pintaveden virtausoloihin. Roudan paksuuden kasvaessa on pintavesivalunnan osuuden kokonaisvalunnasta todettu kasvavan (Seuna ja Kauppi 1981, Melanen ym. 1985). Liperin tuloksien mukaan kuitenkin tutkimusjakson pienin pintavalunnan osuus oli vuosina 1986 – 1987, vaikka routaa oli eniten. Pelkkä roudan paksuus ei selitäkään pintavalunnan suuruutta, vaan siihen vaikuttavat myös roudan vedenläpäisevyys ja lumen vesi-arvo (Seuna ja Kauppi 1981).

Roudan nopea sulaminen Liperin kentällä ko. vuosina, 1986 – 1987, on voinut tehdä veden pääsyn salaojiin mahdolliseksi, jos maaperässä on ollut veden salaojiin kulkeutumista edistäviä suuria huokosia. Tämä on saattanut pienentää pintavaluntaa. Suurten huokosten merkitys valumien muodostumiseen on todettu mm. Bengtssonin ym. (1992) tutkimuksessa Hovin peltovaluma-alueella keväällä 1988. Siellä salaojavalunnan kasvu alkoi useita päiviä ennen pintavalunnan kasvua, vaikka routaa oli 20 cm ja alue oli kalteva (kaltevuus 2,8 %). Sulamisvesien havaittiin kulkeutuvan jäätyneen kyntökerroksen suurten huokosten läpi, edelleen jankon pintaa pitkin sekä painuvan salaojiin niiden päällä olevan sulan hiekkakerroksen kautta (Bengtsson ym. 1992).

Vuonna 1987 routa suli nopeasti, sillä esimerkiksi Heinäveden havaintoasemalla sitä oli vielä 6.5. noin 50 cm, mutta jo 10 päivän kuluttua routa oli kokonaan sulanut (Vesi- ja ympäristöhallitus 1991). Vuonna 1986 roudan sulaminen oli hitaampaa: se alkoi 26.4. ja kesti noin kuukauden (Vesi- ja ympäristöhallitus 1990). Lisäksi sateiden ajoittuminen ja voimakkuus vaikuttavat roudan sulamisnopeuteen ja -aikaan. Sadetta saatiin touku-kuussa 1987 Liperissä tavanomaista enemmän ja melko tasaisesti koko kuukauden, kun taas toukokuussa 1986 satoi enemmän vasta kuun lopussa. Huhtikuu oli vähäsateinen kumpanakin vuonna.

## 5.2 Veden laatu

### 5.2.1 Pintavedet

Kalibrintiajan (nurmi 1983 – 1984) pintaveden keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus oli  $170 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  ja fosfaattifosforin pitoisuus oli keskimäärin  $52 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ , joten ne olivat noin 2–4-kertaiset Melasen ym. (1985) mittaamiin virtaamapainotettuihin kalibrintijakson 1978 – 1979 keskiarvoihin nähden. Tämä voi johtua osaksi erilaisesta laskentatavasta, osittain myös mahdollisesta jätevesilietteen levityksen jälkivai- kutuksesta. Lisäksi nurmen lannoitustapa, pintalannoitus, on ilmeisesti suurentanut fosforin huuhtoutumista pintavesissä, kuten Turtola ja Jaakkola (1985) totesivat Jokioisten koekentällä.

Fosforin huuhtoutuminen viljelymailta tapahtuu merkittävässä määrin pintavalunnan mukana eroosion vuoksi (esim. Brink ym. 1979, Turtola ja Jaakkola 1985, Tiainen ja Puustinen 1989, Børresen ja Uhlen 1991, Puustinen 1992). Vuosina 1989 – 1991 Aurajoen kentällä todettiin fosforikuormituksen määrän voimakkaasti riippuvan eroosiosta (Puustinen 1992). Kaltevalla kentällä pintavalunnan kokonaisfosforin (vaihtelu  $585 - 3120 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) ja fosfaattifosforin (vaihtelu  $180 - 449 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) pitoisuudet olivat huomattavasti Liperissä todettuja arvoja suuremmat. Jokioisissa pintavesissä nurmelta ja ohramaalta kokonaisfosforin pitoisuudet vaihtelivat välillä  $200 - 4800 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  (Turtola ja Jaakkola 1985) eli nekin olivat huomattavasti Liperissä havaittuja suuremmat. Jokioisten kentän valunnasta noin 70 % tuli vuosina 1983 – 86 pintavaluntana (Turtola ja Jaakkola 1987). Nurmen pintaan levitetty lannoite oli siten pintavalunnan myötä huuhtoutumiselle alttiina, mikä ainakin osaksi selitti nurmen suuria fosforihuuhtoutumia (Turtola ja Jaakkola 1985). Uhlen (1989a) havaitsi kenttälysimetrikokeessa väkilannoitetulta nurmelta ( $100 \text{ kg N}$ ,  $25 \text{ kg P}$  ja  $50 \text{ kg K}$ ) pintavesissä huuhtoutuvan kokonaisfosforin keskimääräiseksi pitoisuudeksi  $320 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ , ja fosfaattifosforin osuus vaihteli välillä 41 – 55%. Siten sekä fosfaattifosforin osuus että sen pitoisuudet olivat Liperin arvoja suuremmat.



Lietelantakäsittelyjen vaikutuksesta Liperissä pintaveden kokonaisfosforipitoisuudet eivät nousseet, mutta fosfaattifosforin pitoisuus kaksinkertaistui käsittelyjaksolla (keskiarvo  $99 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) vertailujaksoon verrattuna (keskiarvo  $52 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ). Fosfaattifosforin osuus kokonaisfosforista oli 58 % lietekäsittelyruutujen pintavesissä, ja 52 % vertailukäsittelyn pintavesissä. Pitoisuuksien vaihteluvälit lietelantakäsittelyssä kasvoivat huomattavasti kalibrointijaksoon nähden.

Vertailukäsittelyn keskimääräiset pitoisuudet olivat 60 – 64 % lietelantakäsittelyjen pitoisuuksista. Suurimmat pintaveden fosforipitoisuudet havaittiin keväällä 1985 lietelannan talvilevityksestä, kun taas pienimmillään pitoisuudet olivat kevätlevityksestä. Melasen ym. (1985) havaintoihin verrattuna keskimääräiset pitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa pienemmät. Pintavesien pitoisuudet alenivat lietelantakäsittelyjen päätyttyä lähelle pitoisuuksia, joita pintavesissä todettiin vertailukäsittelystä lietelannoitusjaksolla. Vertailun ja lietelannoitettujen kaistojen pitoisuudet olivat jälkijaksolla jokseenkin yhtäsuuret.

Jätevesilietteen levitys Liperin kentällä (Melanen ym. 1985) nosti pintavesien keskimääräisen typpipitoisuuden noin 2–3-kertaiseksi ja nitraattitypen pitoisuuden 4–6-kertaiseksi verrattuna tässä tutkimuksessa havaittuihin lietelannan käsittelyjaksos pitoisuuksiin. Ero luonnollisesti johtuu suureksi osaksi jätevesilietteen noin 4–10-kertaisesta typpimäärästä lietelannoituksen typpimäärään verrattuna (vrt. Melanen ym. 1985).

Pintavesien ammoniumtypen pitoisuus nousi noin kuusinkertaiseksi lietelannan levitysjaksolla vertailukäsittelyyn nähden, mutta nitraatti- ja kokonaistypen pitoisuuksiin lietelantakäsittelyillä oli vähäisempi vaikutus. Pintavesien  $\text{N}_{\text{NH}_4}$ -pitoisuudet (keskiarvo  $210 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ ) jäivät kuitenkin pieniksi verrattuna esim. norjalaisessa lysimetrikokeessa havaittuun pitoisuuteen,  $900 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$  verrattuna (Uhlen 1989a). Pintaveden ammoniumtyppipitoisuus Liperissä oli pienempi kuin salaojavesien pitoisuus (keskiarvo lietekäsittelyistä  $480 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ ) toisin kuin Uhlenilla. Norjalaistutkimuksessa pintavaluntaa oli runsaasti ja siten myös ammoniumtyypeä oli pintavesissä runsaasti, Liperissä puolestaan pintavesivalunta oli vähäistä. Maaperässä ammoniumtyppi ennätti myös nitrifioitua nitraatiksi.

Liperin kentän pintavesituloksiin vaikuttavat varsin paljon myös pintavesihavaintojen vähyys sekä pintavesikaivojen mahdolliset toimintahäiriöt ym. Pintavesien pitoisuudet sekä fosforin että typen osalta jäivät lietelannan levityksissä varsin pieniksi verrattuna muiden tutkimusten tuloksiin. Tämä johtuu luonnollisesti osittain kentän pintavalunnan vähäisyydestä. Pintavesituloksien yleistettävyyys tästä tutkimuksesta on melko heikko. Myöskään Melanen ym. (1985) eivät pitäneet kentän pintavesituloksia kovin luotettavina.

## 5.2.2 Salaojavedet

Salaojavesissä pitoisuudet olivat kalibrointiaikana kokonaisfosforin osalta  $53 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  ja fosfaattifosforin osalta  $30 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ . Salaojavesien pitoisuudet vastasivat siten hyvin Melasen ym. (1985) kalibrointijakson keskipitoisuutta  $60 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  ( $\text{P}_{\text{tot}}$ ). Samoin fosfaattifosforin osuus, 30 – 50 % kokonaisfosforista, oli samansuuruinen. Suurimmat salaojavesien pitoisuudet mitattiin kevätsulamisen aikaan 1983. Uhlen (1989a) totesi kenttälýsimetrien nurmelta huuhtoutuvan  $70 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  salaojavedessä, eli Liperissä mitattua suuremman pitoisuuden.

Lietelantakäsittelyt nostivat käsittelyjaksolla salaojavesien kokonaisfosforin pitoisuuden (keskimäärin  $230 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ ) noin kaksinkertaiseksi verrattuna Melasen ym. (1985) havaitsemiin pitoisuuksiin. Verrattuna kalibrintijakson (1983 – 1984) pitoisuuksiin kokonaisfosfori nousi noin nelinkertaiseksi, fosfaattifosfori noin kaksinkertaiseksi. Suurimmat pitoisuudet tulivat talvilevityksestä. Myös Gustafsonin ja Torstenssonin (1984b) tutkimuksessa karjanlannan talvilevitys aiheutti suurimmat salaojavesien fosforipitoisuudet: kokonaisfosfori oli  $6730 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$  ja fosfaattifosfori  $2990 \mu\text{g l}^{-1} \text{P}$ . Karjanlannasta johtuvia hyvin suuria kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin pitoisuuksia (yli  $1 \text{ mg l}^{-1}$ ) salaojavesissä on todettu myös Norjassa (Uhlen ja Østerud 1992). Liperissä lietelannan käsittelyjakson jälkeen salaojavesien pitoisuudet laskivat nopeasti, mutta olivat keskimäärin kaksinkertaiset verrattuna kalibrintijakson keskiarvoihin. Lietelantakäsittelyjen pitoisuudet alenivat noin 10 % pienemmiksi kuin vertailukäsittelyn arvot.

Lietelantakäsittely nosti selvästi salaojavesien typpipitoisuuksia vertailuun nähden ja kalibrintijaksoon nähden. Suurimmat ammoniumtyppipitoisuudet salaojavesissä todettiin lietelannan talvilevityksen vaikutuksesta. Saman havaitsivat myös Gustafson ja Torstensson (1984b), joskin nyt todettu  $\text{N}_{\text{NH}_4}$ -maksimi,  $5500 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ , jäi ruotsalaistutkimuksen pitoisuutta ( $8530 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ ) pienemmäksi. Typen pitoisuuksien keskiarvot nyt tarkasteltavalla Liperin lietelannoituksen käsittelyjaksolla olivat huomattavasti Melasen ym. (1985) mittamia pienemmät (esim. vuonna 1980  $\text{N}_{\text{tot}}$   $7600 - 22000 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$  eri käsittelyjen vuosikeskiarvojen vaihteluna). Muistettakoon Melasen ym. (1985) pitoisuuksien olevan virtaaman suhteen painotettuja keskiarvoja. Eroavuuden ensisijainen selittäjä on kuitenkin jätevesilietteen suurempi typpimäärä. Verrattuna Turtolan ja Jaakkolan (1987) havaitsemiin salaojavesien keskimääräisiin typpipitoisuuksiin ( $1000 - 19000 \mu\text{g l}^{-1}$ ) väkilannoituksesta olivat tässä tutkimuksessa lietelannan käsittelyn aiheuttamat pitoisuudet selvästi pienemmät. Samoin nitraattitypen maksimiarvo tässä tutkimuksessa ( $3500 \mu\text{g l}^{-1} \text{N}$ ) oli Uhlenin (1989a) salaojavesissä havaitsemaa nitraattityppipitoisuutta ( $19,6 \text{ mg l}^{-1}$ ) selvästi pienempi.

## 5.3 Huuhtoutumat salaojavesiin

### 5.3.1 Fosfori

Suomalaisessa maaperässä on tavallisesti niukasti kasveille käyttökelpoista fosforia. Sen määrää vähentää myös fosfaatin sitoutuminen maapartikkeleihin tai orgaaniseen ainekseen. Hartikaisen (1979, 1982) mukaan fosfaatit adsorboituvat hydratoituneisiin rauta- ja alumiinioksideihin, joiden määrästä paljolti riippuu fosforin pidättymisen tehokkuus. Näitä oksideja syntyy rapautumisen lopputuotteena. Siksi niitä on hienojakoisessa kivennäismaassa, kuten savessa runsaammin kuin karkeissa maalajeissa. Siten savimaan fosforinsitomiskyky on varsin hyvä.

Tehokas fosforin sitoutuminen maaperään vähentää fosforin huuhtoutumista, mutta samalla sen käyttökelpoisuus kasveille vähenee. Fosforilannoitus Suomessa on nykyisin noin  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ , ja fosforia sadon mukana poistuu keskimäärin  $12 \text{ kg ha}^{-1}$  (Kemira Oy 1991, Rekolainen ym. 1992). Viljelymaiden pintakerrokseen on lannoituksen seurauksena rikastunut fosforia raudan ja alumiinin sisältämään fraktioon (Hartikainen 1989). Fosforiylijäämän myötä on myös pellon pintakerroksen helppoliukoisen fosforin määrä kasvanut (Kähäri ym. 1987), joten eroosioaineksessa fosforihuuhtoutumat saattavat kasvaa (Rekolainen ja Kauppi 1988). Liukoista fosforia voi kulkeutua myös syvempiin

maakerrokseen, jossa pidätyminen on yleensä vielä tehokasta. Veden virtaaminen kyntökerroksessa ojien kohdalle sekä isoja huokosia pitkin salaojiin voi kuitenkin aiheuttaa huomattavaa fosforin huuhtoutumista, vaikka suurin osa jankosta olisi hyvinkin tehokas fosforin pidättäjä (Sippola ja Saarela 1992).

Fosforin kulkeutuminen peltomaalta vesistöihin tapahtuu pääasiassa tulvien ja eroosio-aineksen mukana. Esim. Ulén (1982, 1985) esitti Ruotsin kokonaisfosforikuormasta noin puolet johtuvan keväällä lumensulamisvesien aiheuttamasta eroosiosta. Tällä on suuri merkitys vesistöjen fosforikuormitukselle. Pintavesivalumalla ja fosforipitoisuudella on selkeä yhteys, ja se on pienillä valuman arvoilla lineaarinen (Joelsson 1981).

Kaupin (1984) mukaan pienten maatalousvaltaisten valuma-alueiden fosforikuormasta noin puolet saattaa tulla kiintoaineeseen sitoutuneena. Tämän fosforin rehevöittävä vaikutus siten ratkaisevasti kiinni siitä, missä määrin maahiukkasista tapahtuu desorptiota järviveteen (Kauppi 1984). Uusimpien tutkimusten mukaan maatalouden vuotuisesta kokonaisfosforikuormituksesta on noin 29 % leville käyttökelpoisessa muodossa (Ekholm 1992).

## Vertailujakso (nurmi)

Ennen lietelannan levitystä nurmelta huuhtoutui salaojavesissä keskimäärin kokonaisfosforia  $0,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  eli lähes saman verran kuin Kaupin (1979) havaitsema maatalousalueiden huuhtoutuma ( $0,57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ). Liperin huuhtoutumat olivat pienempiä kuin Rekolaisen (1989) tutkimuksessa maatalousvaltaisten valuma-alueiden keskimääräiset kokonaisfosforihuuhtoutumat ( $0,66 - 1,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ). Jätevesilietteen levityksen jälkivaikutus saattoi osittain suurentaa Liperin tämän tutkimuksen kalibrointivaiheen fosforihuuhtoutumia. Savimaissa on todettu jätevesilietteen levitysten nostavan uuttuvan fosforin määrää; kalkkisaostetut lietteet nostivat sitä eniten (Jokinen 1989). Suurin osa lietteiden mukana lisätystä fosforista jäi kuitenkin maahan uuttumattomaksi.

Huuhtoutumiskentällä Jokioisissa tehdyssä tutkimuksessa nurmelta huuhtoutui fosforia salaojavesissä  $0,30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  (Jaakkola 1984a, Turtola ja Jaakkola 1985), kun taas toisessa tutkimuksessa nurmelta ja ohrapelloilta salaojavesien fosforihuuhtoutumat olivat vain  $0,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Turtola ja Jaakkola 1987). Jokioisten kentän valunnasta oli pintavaluntaa 70 %, ja pintavesissä fosforista huuhtoutui 77 % (Turtola ja Jaakkola 1987). Liperissä salaojahuuhtoutumat olivat tutkimusjaksolla yleensä yli 95 % kokonaishuuhtoutumista. Jokioisissakin on kuitenkin mitattu salaojavesihuuhtoutumaksi  $0,53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  ohramaalta vuonna 1979 (Jaakkola 1984b).

Nurmen fosforilannoitus,  $51 \text{ kg ha}^{-1}$  Liperissä, oli 10 kg korkeampi Jokioisten pienintä nurmilannoitusta (Turtola ja Jaakkola 1987). Suurempi huuhtoutuminen Liperissä verrattuna Jokioisiin voi siten osaksi johtua lannoitustason erosta. Tätä tukevat Uhlenin (1989b) kenttäläysimetritutkimusten tulokset, joiden mukaan nurmen lannoituksen lisäys sekä typen että fosforin suhteen voi johtaa lisääntyneeseen fosforihuuhtoutumaan lumensulamisaikana. Tosin Jokioisissa nurmen fosforilannoituksen kaksinkertaistaminen ja sadetus eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi fosforin huuhtoutumiseen salaojavesien mukana. Sen sijaan pintavesiin nurmelta saattoi joutua fosforia suoraan pintaan levitetystä lannoitteesta, ja nurmelta huuhtoutuikin fosforia enemmän kuin ohramaalta ainakin osittain juuri pintavirtailun vuoksi (Turtola ja Jaakkola 1985). Veden

pintavirtailu voi olla savimaalla sen vedenläpäisykyvyn alhaisuuden vuoksi yleistä, joten näistä maista huuhtoutuukin fosforia varsin runsaasti (Turtola ja Jaakkola 1985).

Liperissä nurmelta mitatut kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin huuhtoutumat olivat selvästi suuremmat kuin Brinkin ym. (1978) havaitsemat kokonaisfosfori-huuhtoutumat ( $0,01 - 0,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) ja fosfaattifosforihuuhtoutumat ( $0,0 - 0,10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) väkilannoitetulta nurmelta. Boltonin ym. (1970) mukaan savimaalla Kanadassa kokonaisfosforia huuhtoutui väkilannoitetulta nurmelta  $0,12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Boltonin ym. (1970) tutkimuksessa näyttöä suodatettiin, mikä selittää tuloksien eroa. Norjalaiset tulokset fosfaattifosforin huuhtoutumasta nurmelta (lannoitustaso  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ , koeruuden kaltevuus 4,5%) osoittivat, että pintavesihuuhtoutumana tuli  $0,314 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja salaojavesissä  $0,058 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Uhlen 1978a).

Turvemaalla nurmen fosforilannoituksen kolminkertaistaminen (tasolta  $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$  tasolle  $63 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ ) nosti fosforin huuhtoutumaa salaojavesiin arvolla  $0,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ , kun lähtötaso oli  $0,90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  (Huhta 1989a). Siten lannoitusta lisättäessä fosforia huuhtoutui salaojavesiin  $1,1 \text{ kg kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  turvemaalta<sup>eli</sup> noin kaksinkertaisesti tässä tutkimuksessa savimaalta mitattuun huuhtoutumaan,  $0,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  nähden. Syynä tähän on ilmeisesti suureksi osaksi turvemaan huono fosforinpidätyskyky savimaahan verrattuna. Uhlenin (1989a) tutkimuksessa nurmilysimetreistä huuhtoutui fosforia 8 vuoden aikana  $7,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$  eli fosforin keskimääräinen huuhtoutuma oli lähes samansuuruinen turvemaalta havaittujen huuhtoutumien kanssa (Huhta 1989a). Pintavesihuuhtoutumalla lumen sulamisaikaan oli merkittävä osuus fosforihuuhtoutumaan (Uhlen 1989a).

Toisessa Uhlenin (1989b) lysimetritutkimuksessa (fosforilisäykset olivat  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  ja  $48 \text{ kg ha}^{-1}$ ) huuhtoutui kokonaisfosforia pintavedessä keskimäärin  $0,35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (suuremmalla lannoituksella  $0,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) ja fosfaattifosforia  $0,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ( $0,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Uhlenin (1989b) mukaan fosforin huuhtoutuminen määräytyi 1) lumen sulamisen aikaisesta pintavalunnasta, 2) syksyllä peltoon jääneen nurmen määrästä tai sen fosforisisällöstä ja 3) edeltäneestä fosforilannoituksesta. Väkilannoitetulta nurmelta huuhtoutuvan fosforin määrään vaikuttavat myös nurmen lannoitustapa ja mahdollinen sadetus sekä – nurmiviljelyn jälkeen – myös maanmuokkaus ja maan tiivistyminen (esim. Timmons ym. 1973, Mostaghimi ym. 1988, Børresen ja Uhlen 1991). Kasvinjäänteiden hajoaminen, jäätyminen ja kuivuminen pellolla lisää fosforin ja typen huuhtoutumista (Timmons ym. 1973, Ulén 1984b, Uhlen 1989b). Ulénin (1985) tutkimuksen mukaan nurmelta saattaa talven jälkeen huuhtoutua enemmän kuin kynnetyltä pellolta. Liperissä kuitenkin nurmelta huuhtoutui vähemmän fosforia kuin ohralta.

## Lietelannan levityksen vaikutukset

Lannan fosforia pidetään lannoitusarvoltaan jokseenkin väkilannoitteeseen verrattavana. Tavallisesti 80 – 90 % lannan fosfaatista on epäorgaanista ja siten verrattavissa lannoitefosforiin (esim. Gerritse 1978, Faassen ja van Dijk 1987). Lannan fosforin huuhtoutumisen on havaittu tavallisesti olevan vähäistä, sillä sen käyttökelpoisuus kasveille on hyvä ja ylimäärä voi sitoutua maa-ainekseen (esim. Furrer ja Gupta 1985, Spallacci ja Boschi 1985). Kofoed ja Klausen (1986) havaitsivat ohra- ja juurikas-pelloille sekä nurmelle levitetystä naudän lietelannasta huuhtoutuvan vain niukasti fosforia, eikä huuhtoutumiseen vaikuttanut lietelanta-annoksen suuruus. Furrer ja Gupta (1985) havaitsivat pitkäaikaisessa kokossa sian lietelannasta maaperään rikastuneen

fosforin olevan liukoisemmassa muodossa kuin jätevesilietteestä peräisin olevan fosforin. Sian lietalannassa on noin kaksinkertainen määrä fosforia verrattuna naudan lietalantaan, samoin typen pitoisuus on suurempi (Kemppainen 1989).

Liperissä tehdyssä tutkimuksessa havaittiin lietalannan ensimmäisen syyslevityksen vaikutuksesta syksyllä 1984 sekä  $P_{\text{tot}}$  – että  $P_{\text{PO}_4}$ :n huuhtoutumien selkeää kasvua salaojavesissä käsittelemättömiin ruutuihin verrattuna, kun taas huuhtoutumat syksyllä 1985 vertailusta ja syyslevityksestä olivat lähes samansuuruiset. Fosforihuuhtoutumiin oli sateiden ajoittumisella ja sateisuudella selvästi vaikutusta. Syyslevityksen jälkeen lokakuussa 1984 satoi muutamien vuorokausien aikana yli 20 mm ja kuukausi oli runsassateinen. Sen sijaan lokakuussa 1985 sateita oli niukasti, ja levityksajan jälkeen oli useiden päivien sateeton jakso.

Myös Uhlenin (1978b) mukaan karjanlannan syyslevitystä seuranneen ajan sateisuus lisäsi huuhtoutumista. Maahan sekoitettu lietalanta aiheutti suuremman fosforihuuhtoutuman salaojavesissä kuin pintaan levitetty lietalanta. Vastaavat fosfaattifosforin arvot olivat kummastakin levityksestä sekä lannoittamattomasta käsittelystä yhtäsuuret. Tuloksiin vaikutti myös talven sateisuudesta johtuva runsas eroosio, joka aiheutti pintavaluntaa kaltevalla kentällä.

Karjanlannan syyslevityksestä on todettu ruotsalaisissa tutkimuksissa voivan aiheutua suuria fosforihuuhtoutumia salaojavesiin (Gustafson ja Torstensson 1984a, Brink ym. 1978, Brink ja Jernlås 1982). Kemppaisen (1992) lysimetritutkimuksessa fosforin huuhtoutuminen turvemaalle levitetystä naudan lannasta jatkui toisellakin huuhtoutumiskaudella. Kahden kauden summana kokonaisfosforin huuhtoutuma oli yhteensä noin  $0,30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$  talvilevityksestä, syyslevityksestä vastaavasti noin  $0,22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ , eli huomattavasti pienemmät kuin Liperin vastaavina levitysjankohtina mitatut huuhtoutumat.

Lietalannan talvilevitys aiheutti erittäin suuret fosforihuuhtoutumat savimaalta salaojavesiin, suurin vuosihuuhtoutuma oli  $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Tästä huuhtoutumasta lähes puolet oli fosfaattifosforina. Samansuuntainen oli alustava tulos vuodelta 1986 (Ahtiainen 1987). Tulos on jokseenkin samansuuruinen kuin Uhlenin (1984a) havaitsema, joskin ko. tutkimuksessa vaikutti myös käytetty väkilannoite lietelannan lisäksi.

Lietalannan talvilevityksen aiheuttamat fosforihuuhtoutumat olivat siten suurimmillaan noin kolminkertaiset jätevesilietteen aiheuttamiin. Sen sijaan syyslevityksen fosforihuuhtoutumat olivat vuosihuuhtoutumina jokseenkin samansuuruiset Melasen ym. (1985) tutkimuksen huuhtoutumien kanssa.

Liperissä todettu suurin talvilevityshuuhtoutuma,  $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , on lähellä em. tutkimuksessa nurmen lietalannoituksesta havaittua. Nyt saatu huuhtoutumatulos on varsin suuri, kun otetaan huomioon saven parempi fosforinpidätyskyky hietaan verrattuna. Ilmeisesti huuhtoutuminen Liperissä tapahtui osittain suoraan maaperän suuren huokosten ja halkeamisen kautta salaojavesiin. Ruotsalaisen tutkimuksen tuloksia on puolestaan voinut suurentaa kasvukaudella käytetty väkilannoitus.

Brink (1987) totesi lietalanta-annosten suurentamisen nostavan hiekkamaan läpi huuhtoutuvan typen määrää. Sen sijaan fosforin huuhtoutuminen pieneni, jota osittain selitti pH-arvon aleneminen. Spallacci ja Boschi (1985) totesivat kolmena vuonna toistetun karjanlannan levityksen lisäävän erityisesti maan kaliumin määrää, mutta myös – tosin selvästi vähemmän – maassa olevan fosforin ja typen määrää.

Seuraavaan on koottu tuloksia pohjoismaisista lietelannan levitystutkimuksista vertailuksi tämän tutkimuksen tuloksiin:

Lannoitusaika, lantalaji	Kokonaisfosfori-huuhoutuma (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	Fosfaattifosfori-huuhoutuma (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	Tutkimuskenttä, maalaji ym.	Viite
Syksy, naudana lietelanta	n. 0,1 – 0,2	n. 0,02 – 0,12	Plönninge, hiekka	Brink ja Joelsson (1978)
Syksy	0,09 – 0,36	0,07 – 0,23	Viad, savi	Brink ja Jernlås (1982)
Syksy, kuivalanta	0,94	0,78	Vagle, hiesu	Gustafson ja Torstensson (1984a)
Syksy	0,04	0,01	Offer, hiesu	Gustafson ja Torstensson (1984b)
Syksy, naudana lietelanta	sek. maahan: 0,60 pintalevitys: 0,46	0,10 0,10	Ås, kenttäläysim., hiue (loam)	Uhlen (1978b)
Syksy (rou-taant.maalle)	2,63	1,19	Flinkesta, savi	Ule'n (1984)
Talvi	2,97 – 4,04	0,75 – 2,72	Offer, hiesu	Gustafson ja Torstensson (1984b)
Kevättalvi, siana lietelanta	0,15	0,10	Ås, kenttäläysim. hiue	Uhlen (1978b)
Talvi, väkilann. + kuival.+lietel.	0,32 – 0,94	0,23 – 0,71	Kärrdala, hiekka	Brink ym. (1978, 1979)
Kevät, lietel. + kuival.	0,01 – 0,09	0,00 – 0,02	Offer, hiesu	– " –
Kevät, kuival. + väkilann.	0,03 – 2,20	0,01 – 0,89	Flinkesta, savi	– " –
Kevättalvi, rou-taant. maa	1,24	0,14	Flinkesta, savi	Brink ym. (1983)
Kevät	0,05 – 0,20	0,04 – 0,11	Viad, savi	Brink ja Jernlås (1982)
Kevät	0,01–0,12	0,00 – 0,09	Offer, savi	Gustafson ja Torstensson (1984b)
Syyskuu Joulukuu Toukokuu naudana lietelanta	huuhoutumat <sup>1)</sup> : 142 / 6 g ha <sup>-1</sup> 220 / ... 17 / ...	...	Sotkamo, kenttäläysim., saraturve / karkea hieta	Kemppainen (1992)
Syksy Talvi Kevät naudana lietelanta	0,82 – 2,20 0,88 – 2,60 0,41 – 0,99	0,39 – 0,55 0,57 – 1,50 0,23 – 0,73	Liperi, savi	tämä tutkimus

<sup>1)</sup> Huuhoutuman lisäys kocaikana, ilmoitettuna ensin turveläysimetrin, sitten hietaälysimetrin tulos. Joulukuun ja kevään levitys vähensivät huuhoutumia lannoittamattomaan verranteeseen nähden.



Kevätlevityksen vaikutus fosforihuuhtoutumiin jäi Liperissä pieneksi, ja samansuuntaisen havainnon ovat tehneet esim. Brink ja Jernlås (1982) kuivikelannasta sekä Gustafson ja Torstensson (1984b) lietelannan levityksestä. Tulos ei ole mitenkään odottamaton, sillä lannoitteiden ravinteiden hyväksikäyttöön on parhaimmat edellytykset kasvu-kaudella. Huuhtoutumia pienentää myös useinkin vähäsateiseksi jäävä kevät.

Tarkasteltaessa keskimääräisiä huuhtoutumia tässä tutkimuksessa on vesiensuojelun kannalta merkittävä tulos fosfaattifosforin ja liukoisen fosfaattifosforin suuri huuhtoutuminen syys- ja talvilevityksistä. Syyslevityksen huuhtoutumia nosti ylimääräinen lietelannoitus talvella 1986. Fosfaattifosforin ja erityisesti liukoisen fosfaattifosforin merkitys on suuri vesistöjen rehevöittäjänä (esim. Ekholm 1992, Kauppi ym. 1992, Knuuttila ym. 1992).

### 5.3.2 Typpi

Typen huuhtoutumiseen vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat Brinkin (1978) mukaan seuraavat: sademäärä > lannoituksen intensiteetti > maalaji > pohjaveden korkeus > viljelykasvi > lannoitusaine. Typen huuhtoutuminen on fosforin huuhtoutumista paljon helpompaa. Orgaanisen aineen, esim. karjanlannan hajotessa maaperässä vapautuu ammoniumtyyppiä, joka voi pidäytyä maahiukkasiin. Nitrifikaatiobakteerit hapettavat ammoniumtyyppiä kuitenkin nitraatiksi, joka on liukoisena herkästi huuhtoutuvaa. Nitrifikaatio happamoittaa maata, ja se voi vaikuttaa muiden ravinteiden reaktioihin. Typpi pyrkii muuntumaan hyväkuntoisilla mailla nitraattimuotoon. Nitraatti voi pelkistyä kaasumaiseksi denitrifikaation kautta. Tiiviillä ja heikosti vettä läpäisevillä mailla huuhtoutuminen voi olla vähäisempää tästä syystä. Osa karjanlannan tyypestä vapautuu kuitenkin vähitellen kasveille käyttökelpoiseen muotoon (esim. Sluijsmans ja Kolenbrander 1977, van Faassen ja van Dijk 1987, Jarvis ym. 1987).

Juuristovyöhykkeestä tapahtuvaan huuhtoutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat Duynisveldin ym. (1988) mukaan ilmasto, maaperä (topografia, maanrakenne, tyyppi maan orgaanisessa aineessa, pohjaveden pinnan taso), maankäyttö (kasvillisuus, sen veden ja typen otto, kesto ja ajankohta, maankäsittelyn intensiteetti) sekä typen levitys (lannoitetyyppi, levitysaika, -määrä). Pellolle jääneen kasvimassan jäätyessä ja kuivuessa solurakenne rikkoutuu, jolloin kasveista vapautuu ravinteita veteen (esim. Timmons ym. 1973, Uhlen 1978b, Ulén 1984b, 1985).

### Vertailujakso (nurmi)

Liperin kentän tutkimuksen tausta-arvot vertailuruuduilta olivat suuret niin  $N_{tot}$ - kuin  $N_{NO_3}$ -huuhtoutuminakin. Osaselityksenä saattaisi olla aiemman jätevesilietteen levityksen jälkivaikutuksen korostuminen näillä ruuduilla yhdistyneenä suuriin valuntoihin keväinä 1983 – 1984. Tätä eivät kuitenkaan tue syksyn 1984 viljavuusanalyysitulokset, joiden mukaan kentän pintakerroksen tyyppipitoisuudet olivat tasaisia. Jätevesiliete oli levitetty niin, että kutakin käsittelyä oli yksi kerranne kullakin nyt käytetyllä lannoituskäsittelykaistalla (Melanen ym. 1985). Jätevesilietteen levitys nosti typen huuhtoutumista ainakin kahden vuoden ajan, vuosiksi 1981 – 1982. Jätevesiliete voi suurentaa maan kokonaistypen ja -hiilen pitoisuutta väkilannoitteeseen verrattuna pitkäaikaisen tutkimuksen mukaan (Uhlen 1991). Vertailuruutujen suuriin tyyppihuuhtoutumiin vuosina 1983 – 1984 on saattanut vaikuttaa myös ilmeinen ulkopuolisten sulamisvesien pääsy kentälle, ja mahdollinen tyyppilisäys sen kautta.



Typen huuhtoutumisen savimaassa on todettu kasvavan suurilla vesimäärillä myös Jokioisissa (Jaakkola 1984a). Märkinä vuonna kasvusto kasvoi huonosti ja käytti typpeä vähemmän kuin tavallisesti, mikä edisti huuhtoutumista. Samaan suuntaan vaikutti myös edellisvuoden kesannointi (Jaakkola 1984a).

Kesäkuussa 1985 tehdyt maaperän typpianalyysit osoittivat vertailuruutujen typpipitoisuudet noin kaksinkertaisiksi muuhun kenttään nähden. Kokonaistypen vuosihuhtoutuma oli näiltä ruuduilta jokseenkin samansuuruinen kuin talvilevityksestä, nitraattitypen vuosihuhtoutuma vertailusta oli puolestaan koko tutkimuksessa mitatuista suurin. Tuloksiin vaikuttaa se, että ilmeisesti vertailuruuduille tuli keväällä 1985 ylimäärin väkilannoitetta (työnjohtaja P. Laasonen, suull. tieto). Ohra oli hyvin rehevä ja lakointui vuonna 1985 vertailuruuduilla. Ilmeisimmiksi syiksi kentän kalibrointijakson typpihuhtoutumien vaihteluun eri käsittelyihin varattujen kaistojen kesken jäävät sekä vesimäärien että lannoituksen eroavuudet vertailuruuduilla muuhun kenttään verrattuna.

Monissa tutkimuksissa on todettu, että typen huuhtoutuminen peltomaalta on suuresti riippuvainen viljelykasvista niin Pohjoismaissa (esim. Jaakkola 1984a, Bergström 1987, Gustafson 1987, Nielsen ja Jensen 1990) kuin muuallakin (esim. Vetter ja Steffens 1981b, Stauffer ja Enggist 1990, Vinten ym. 1991). Nurmen typpihuhtoutumat ovat pienemmät kuin viljan, sillä nurmi pystyy viljaa paremmin käyttämään maan typpivarastoja jo aikaisin keväällä (esim. Vetter ja Steffens 1981b, Brink 1984, Jaakkola 1984a, Gustafson 1987). Toisaalta nurmi myös syksyllä sitoo ravinteita kasvustoon. Nurmen vaihto viljaan on omiaan lisäämään typen huuhtoutumista, sillä nurmen juuristoon ja korjaamattomaan kasvimassaan on sitoutunut runsaasti typpeä. Syyskynnön myötä tämän massan hajotessa vapautuu typpeä, jolloin sen huuhtoutumisriski kasvaa (esim. Brink 1984, Ulen 1984b, 1985, Gustafson ja Torstensson 1988).

Turtola ja Jaakkola (1985) havaitsivat, että salaojavesiin huuhtoutui typpeä väkilannoitetusta ohramaasta noin nelinkertaisesti nurmeen verrattuna. Samansuuntainen tulos oli myös Liperissä vertailukäsittelyn salaojavesien typpihuhtoutumista. Vuonna 1985 vertailuruuduilta huuhtoutui noin kaksi kertaa enemmän kokonaistyppeä ja noin viisinkertaisesti nitraattityppeä verrattuna kentän keskimääräisiin huuhtoutumiin vuonna 1983. Luvut ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia johtuen väkilannoitustietojen osittaisesta epävarmuudesta (ks. edellä) sekä suurista valunnoista erityisesti keväällä 1983 ja 1984.

Turtolan (1992) tutkimuksessa savimaalta huuhtoutui ensimmäisenä vuonna avokesanosta typpeä  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  ja heinäkasvikesannosta  $5 \text{ kg ha}^{-1}$ , ja ohraa viljeltäessä typpihuhtoutuma oli  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ . Viljanviljelyn typpihuhtoutuma saattaa siten olla melko suuri toisin kuin Sippolan ja Ylärrannan (1985) tutkimuksessa pääteltiin. Vaihtelu on kuitenkin suurta: Turtolan ja Jaakkolan (1987) tutkimuksissa Jokioisten kentältä huuhtoutui v. 1985 keskimäärin kokonaistyppeä  $3,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , josta  $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  pintavesien mukana. Liperin kentän keskimääräinen vastaava huuhtoutuminen oli  $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , eli selvästi suurempi. Lannoitus- ja viljelykasvien erot selittävät tulosten eroa, sillä Jokioisissa mm. osa kentästä oli tuolloin kevät- ja syysvehnällä ja väkilannoitus oli erisuuruinen kuin Liperissä. Ylärrannan ym. (1992) mukaan Jokioisten lysimetrikokeissa savimaalta huuhtoutui 4 vuoden aikana kastelemattomasta ja lannoittamattomasta ohrasta yhteensä typpeä noin  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  ja lannoittamattomalta kastelemattomalta nurmelta vastaavasti noin  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ .

## Lietelannan levityksen vaikutukset

Lannanlevityksessä typpeä häviää kaasumaisena emissiona (ammoniakin haihtuminen ja denitrifikaatio), pintavaluntana ja huuhtoutumisena (Jarvis ym. 1987). Karjanlannasta peräisin olevan typpi voidaan jakaa Sluijsmansin ja Kolenbranderin (1977) mukaan kolmeen osaan: mineraalityppi ( $N_{NH_4}$  ja urea), orgaaninen typpi (helposti mineralisoituva osa) ja orgaanisen typen jäännösfraktio (hitaasti hajoava osa orgaanisesta tuestä). Mineraalitypen osuus naudan lietelannassa on Sluijsmansin ja Kolenbranderin (1977) mukaan noin 50 % kokonaistypen määrästä, ja ensimmäisenä vuonna mineralisoituvaa typpeä on noin 25 %. Mineraalimuodossa oleva typpi on välittömästi eliöiden käytettävissä, ja suuri osa siitä nitrifioituu nitraattitypeksi.

Ensimmäisenä vuonna kasveille käyttökelpoisen typen määrä lannasta voidaan määrittää liukoisen typen analysoinnilla. Suomessa käytetään laimeaan suolahappoon liukenevan typen määrittystä (Kähäri 1974, Kemppainen 1984). Naudan lietelannan liukoisen typen määräksi on näin saatu 57 % (Kähäri 1974), uudemmissa tutkimuksissa 56 % (Kemppainen 1984). Liperin kentälle levitetystä lietelannassa liukoista typpeä oli hieman runsaammin, keskimäärin 62 % vaihtelun ollessa 50 – 78 %.

Ammoniumtypen haihtuminen riippuu mm. lämpötilasta, kosteudesta, maalajista, tuulesta jne. Tyyni, kostea, viileä sää vähentää ammoniumin haihtumista yleensä. Aina ei ole voitu yksiselitteisesti osoittaa lämpötilan vaikutusta ammoniakin karkaamiseen (Asmus ja Hübner 1990). Ammoniumtypen hävikin on arvioitu voivan olla jopa 39 – 70 % Irlannissa (Kiely 1981). Talvilevityksessä routainen maa tai sekä lumi että routainen maa estävät ammoniumtypen kontaktin maahiukkasiin, jolloin haihtuminen saattaa olla suurta.

Liperin kentällä tehty lietelannan levitys syksyllä 1984 kaksinkertaisti kokonaistypen syyshuuhtoutuman vertailuun nähden, kun taas ammoniumtypen syyshuuhtoutuma kasvoi 33-kertaiseksi. Nitraattitypen huuhtoutuma oli vain 1,3-kertainen vertailukäsittelyyn nähden. Syksyllä 1985 ammoniumtypen huuhtoutuma oli vertailuun nähden noin kymmenkertainen ja 15–20-kertainen muihin käsittelyihin nähden. Lietelannan tuestä suuri osa huuhtoutui ilmeisesti välittömästi levityksen jälkeen salaojavesiin. Lietelannan tuestä suuri osa on juuri ammoniumtypenä (Kemppainen 1989). Nitraattitypen huuhtoutumiin syksyllä vaikutti lietelannan levityksen ohella myös nurmen kyntö ja sen vuoksi vapautuva juuriston ja kasviaineksen typpivarasto.

Vain 20–30 % syksyllä pintaan levitetyn naudan lietelannan liukoisesta tuestä on ohran viljelyssä keväällä levitetyn väkilannoitetypen veroista (Kemppainen 1989). Syyslevityksestä saattaa huuhtoutua varsin paljon typpeä, mutta silti osa jää peltomaahan. Osa tästä tuestä on vähitellen kasvien käyttöön vapautuvaa orgaanista typpeä. Siten esim. syksyllä 1984 levitetystä lietelannan orgaanisesta tuestä osa jäi maahan mineralisoitumaan, jolloin keväällä maaperässä ilmeisesti oli näillä ruuduilla paljon huuhtoutumisherkkää nitraattityppeä. Tämä selittää osaksi kevään 1985 nitraattihuuhtoutumien eroja eri käsittelyistä.

Seuraavaan on koottu pohjoismaisten tutkimusten tuloksia karjanlannan aiheuttamista huuhtoutumista vertailuksi tässä tutkimuksessa havaittuihin arvoihin:

Lannoitusai- ka, lantala- laji	Kokonaistyyppi- huuhtoutuma kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Nitraattityppi- huuhtoutuma kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Ammoniumtyp- pihuuhtoutuma kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Tutkimus- alue, maa- laji yms.	Viite
Syksy, nau- dan lietal.	n. 15 -58	..	..	Plönninge, hiekk	Brink Joels son(1978)
Syksy, kui- valanta	9,2	7,5	0,11	Vagle, hiesu	Gustafsonja Torstensson (1984a)
Syksy	1,7	1,0	0,01	Offer, hiesu	Gustafsonja Torstensson (1984b)
Syksy, nau- dan lietal.	sek.maahan. .. pintal. .	86,2 87,8	0,1 0,1	Ås, kentä- lysim.,hiue	Uhlen (1978b)
Syksy(rout.- maa)	23,6	17,7	0,42	Flinkesta, savi	Ule'n (1984)
Talvi	7,8 - 9,3	1,7-2,4	5,12-5,44	Offer, hiesu	Gustafson Torstensson (1984b)
Kevättalvi, sian lietal.	142,6	133,8	0,04	Ås, kentä- lysim.,hiue	Uhlen (1978b)
Talvi,väkil.+ kuival.+ lie- tel.	32,3-84,6	25,9-79,9	0,07-0,13	Kärrdala, hiekk	Brink ym. (1978, 1979)
Kevät, lietal. + kuivalanta	0,9-17,2	0,8-14,5	0,01-0,04	Offer, hiesu	- " -
Kevät, kui- val. + väki- lann.	5,0-40,3	4,6-37,7	0,03-0,13	Flinkesta, savi	- " -
Kevättalvi, routaant. maa,kuival.	8,0	0,7	3	Flinkesta, savi	Brink ym. (1983)
Kevät	4,8-8,0	4,2-7,2	0,02-0,06	Viad, savi	Brink ja Jern- lås (1982)
Kevät	0,8-1,6	0,7 -9,4	0,01	Offer, hiesu	Gustafson ja- Torstensson (1984b)
Syyskuu Joulukuu toukokuu naudan lie- telanta	huuht.lisäys <sup>1)</sup> : 18/15 kg ha <sup>-1</sup> 12/10 4/...			Sotkamo, kenttälysi- m. saraturve ja karkea hieta	Kemppainen (1992)
Syksy	17 - 40	12 - 20	0,11 - 9,0	Liperi, savi	Tämä tutkimus
Talvi	14 - 32	7,3 - 11	0,95 - 11		
Kevät	12 - 21	7,1 - 15	0,11 - 0,64		
naudan lie- telanta					

<sup>1)</sup> Huuhtoutuman lisäys koeaikana, ilmoitettuna turvelysimetri / hietalysimetrien tuloks. Toukokuun levitys vähensi huuhtoutumaa lannoittamattomaan verranteeseen nähden.

Liperin kentällä lietelannan syyslevityksestä 1986 huuhtoutui runsaasti kokonais- ja nitraattityppeä, mutta ammoniumtypen huuhtoutuma oli vain noin viidenneksen edellissyksyn levitykseen verrattuna. Syksyllä 1986 satoi pääosin vasta marraskuussa: sadanta oli 100 mm eli kaksinkertaisesti normaaliin nähden. Alkusyksyn vähäisen huuhtoutumisen vuoksi ammoniumtppi ilmeisesti osin haihtui, osin ehti nitrifioitua. Suuriin  $N_{\text{tot}}$ - ja  $N_{\text{NO}_3}$ -huuhtoutumiin vaikutti lisäksi myös ko. ruutujen saamasta ylimääräisestä lietelanta-annoksesta vapautuva tppi; tästä käsittelystä huuhtoutui myös kesän 1986 aikana tppä.

Bertilsson (1988) on havainnut lysimetrikokeissa savimaalla, että syksyinen karjanlannan levitys suurentaa typen huuhtoutumista. Myös Vetter ja Steffens (1981b) havaitsivat lietelannan syyslevityksen aiheuttavan kevätlevitystä suuremmat tppihuhtoutumat.

Kemppainen (1992) havaitsi lysimetrikokeissa merkittävää kokonaistypen huuhtoutumista syksyllä levitetystä lannasta. Nitrifikaation estoaine vähensi huuhtoutumista. Turvemaasta huuhtoutui aina merkittäviä määriä ammoniumtppä. Ammoniumtypen runsas huuhtoutuminen turvemaasta viittaa nitrifikaation hitauteen hietamaahan nähden. Syyskuussa ja joulukuussa levitetty karjanlanta nosti ammoniumtypen huuhtoutumista jälkivaikutuskaudellakin (Kemppainen 1992).

Talvilevitys aiheutti suuren ammoniumtypen huuhtoutuman: se oli seitsemän-, kahdeksankertainen verrattuna muihin käsittelyihin. Ammoniumtypen voimakas huuhtoutuminen talvilevityksistä on myös havaittu useissa muissa tutkimuksissa (esim. Brink ym. 1978, Gustafson ja Torstensson 1984a, 1984b). Vaikka lietelantaa levitettäessä haihtuu ammoniumtppä, sen huuhtoutuminenkin on hyvin ilmeistä kasvuston talvella puuttuessa. Huuhtoutumista edistää talvella myös nitrifikaation puuttuminen. Lietelannan tpestä suuri osa on liukoista, ja juuri ammoniumtppimuodossa (esim. Kemppainen 1989). Talvilevityksestä huuhtoutui vähiten nitraattityppeä johtuen mitä ilmeisimmin lietelannan typen nopeasta huuhtoutumisesta pääosin ammoniumtppenä salaojavesiin. Syyslevityksestä nitraattihuhtoutuma oli vastaavana aikana suurempi kuin talvilevitysruuduilta. Tämä viittaa siihen, että syyslevityksessä lietelannan orgaanista tppä jäi maaperään ja se mineralisoitui syksyn ja talven aikana helposti huuhtoutuvaan nitraattimuotoon.

Tppihuhtoutumat vuoden 1986 talvilevityksistä olivat erilaiset: talvilevitys syyskäsittelyruuduille aiheutti suuremmat kokonaistppi- ja nitraattitppihuhtoutumat kuin varsinainen talvilevitys. Edellissyksyn lietelannoituksen vuoksi maaperässä oli ilmeisesti syyskäsittelyruuduilla runsaammin tppä kuin talvilevitysruuduilla. Myös lannan ravinnepitoisuudet ovat saattaneet olla erilaiset ja vaikuttaa huuhtoutumiin, mutta lanta analysoitiin vain ensin levitetystä erästä. Ammoniumtppä on saattanut haihtua eri määriä eri levityskerroilla. Ammoniumtypen huuhtoutuma oli suurin, noin 10-kertainen verrattuna muihin käsittelyihin talvilevityksestä 1987.

Syys- ja talvilevitysruutujen huuhtoutumia huomattavasti suuremmat, 2–3-kertaiset nitraattimäärät huuhtoutuivat keväällä 1985 sekä vertailu- että kevätlevitysruuduilta. Näiden ruutujen nitraatti oli ilmeisesti peräisin kynnetyn nurmen ja sen juuriston vähitellen vapautuvasta nitraattitypestä. Samalla näiden käsittelyjen kevätvalunnat 1985 olivat selvästi suuremmat kuin syys- ja talvilevitysruutujen. Tämä puolestaan johtui ainakin osaksi kentän ulkopuolelta todennäköisesti päässeestä vedestä. Kevätlevitysruuduilla myös lumen vesiarvo oli suurin.

Lietelannan mahdollista jälkivaikutusta typpihuuhtoutumiin on vaikea todeta tämän tutkimuksen tuloksista. Kesä 1987 oli sateinen, ja viileähkö, ja kasvustot kehittyivät heikosti ja sadot jäivät pieniksi. Tämä vaikutti osaltaan typpihuuhtoutumien suuremiseen. Samansuuntaisia tuloksia Jokioisten kentältä on saanut Jaakkola (1984b). Tutkimuksen jälkijaksolla Liperin kenttä oli nurmella, joka pystyy tehokkaasti käyttämään maaperän typpivarastoja.

Tässä tutkimuksessa ei käytetty merkkiaineita, joiden perusteella olisi voitu jäljittää huuhtoutuvien ravinteiden alkuperää. Osa huuhtoutumasta on luonnollisestikin peräisin maaperän sisältämistä ravinteista eikä suoraan lannoitteesta ja lietelannasta. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että typen huuhtoutuminen voi olla merkittävää myös viljanviljelyssä käytettäessä lietelannan syys- tai talvilevitystä tai väkilannoitusta keväällä. Myös keväisestä lietelannan levityksestä saattaa aiheutua väkilannoitekäsitteeseen verrattava typpihuuhtoutuma.

## 5.4 Päätelmät

Tutkimus on ensimmäisiä Suomen oloissa tehtyjä lietelannan ravinteiden huuhtoutumista selvittäviä töitä. Tuloksia voidaan soveltaa maatalouden sekä vesiensuojelun neuvonnassa ja ohjauksessa.

Tuloksien perusteella lietelannan talvilevityksestä aiheutuu niin suuret ravinnehuuhtoutumat, että siitä on aiheellista kokonaan luopua. Myös syyslevitykseen tulee vesiensuojelun kannalta suhtautua hyvin varauksellisesti. Tutkimustulosten perusteella lietelannan syyslevityksestä saattaa aiheutua merkittävää fosforin ja fosfaattifosforin huuhtoutumista salaojavesiin, ja myös typen huuhtoutuminen voi olla suurta. Huuhtoutumiseen erityisesti syksyllä vaikutti sateisuus ja sateiden ajoittuminen levitysjankokhaan nähden. Lietelannan levitys samalle peltokaistalle syksyllä ja seuraavana talvena aiheutti erittäin suuret ravinnehuuhtoutumat, joten tällaisesta levitystavasta on syytä luopua. Ravinteiden pienen huuhtoutuman vuoksi osoittautui lietelannan kevätlevitys ennen kylvää vesiensuojelullisesti edullisimmaksi.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että ravinteiden huuhtoutuminen pellolle levitetystä lietelannasta salaojavesiin voi olla erittäin suurta erilaisissa lannoitus- ja sääoloissa. On tunnettua, että nitraattitypen huuhtoutuminen peltomailta lisääntyy salaojituksen vuoksi. Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat myös fosforia voivan huuhtoutua salaojavesien mukana vesistöön runsaasti. Tietyissä oloissa suuri osa tästä oli liukoista reaktiivista fosforia. Liukoisella reaktiivisella fosforilla on tärkeä merkitys vesistöjen rehevöitymisessä (esim. Ekholm 1992, Kauppi ym. 1992, Pietiläinen ja Rekolainen 1992) ja sillä on vaikutusta myös leväkukintojen esiintymiseen (vrt. Kauppi ym. 1988, 1990, 1992, Knuuttila ym. 1992).

Tutkimuksen tuloksista ei voida suoranaisesti päätellä, missä määrin lietelannasta huuhtoutuneet ravinteet ovat käyttökelpoisia eliöstölle eli mikä näiden huuhtoutuneiden ravinteiden vesiensuojelullinen merkitys on. Voidaan arvioida, että ne suurelta osin liukoisina ovat leville käyttökelpoisia. Liukoisten ravinteiden huuhtoutuminen salaojavesiin on yksi vesistöjen kuormitustekijä, jonka merkitystä ja vähentämiskeinoja tulisi jatkossa tutkia. Samoin olisi selvitettävä, miten lietelannan ja yleensä karjanlannan hyväksikäyttöä voidaan tehostaa esimerkiksi lannan käsittely- ja levitystekniikkaa

parantamalla. Lannan hyväksikäytön tehostamisella on myös taloudellisia, ei yksin ympäristönsuojelullisia etuja.

## 6 TIIVISTELMÄ

Eri vuodenaikoina savimaalle levitetyn naudan lietelannan aiheuttamaa ravinteiden huuhtoutumista tutkittiin Liperissä sijaitsevalla huuhtoutumiskoe kentällä. Tutkimuksessa verrattiin lietelannan ja väkilannoituksen aiheuttamia ravinnehuuhtoutumia toistettaessa lannoitukset useampana vuonna peräkkäin. Lietelannan levitysajankohtia oli kolme: syksy ennen kyntöä, kevättalvi ja kevät ennen kylvöä. Lietelanta levitettiin kulloinkin neljän peräkkäisen ruudun saralle, jonka koko oli noin 20 m x 120 m. Kunkin vuodenaajan lietelannoitus tehtiin kolmasti samalle neljän ruudun saralle syksyn 1984 ja kevään 1987 välisenä aikana. Lietelannan syksyiseen levitykseen varatut ruudut saivat ylimääräisen lietelanta-annoksen kevättalvella 1986. Vertailuna oli väkilannoitus. Viljelykasvina oli ohra. Vertailujaksolla ennen lietelantakäsittelyä sekä käsittelyjen jälkeisellä seurantajaksolla koekenttä oli nurmella.

Lietelannoitus tehtiin pintalevityksenä naudan lietelannalla  $50 - 53 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , joka mullattiin levityksen jälkeen. Lietelannan yhdessä levityksessä peltoon tuli keskimäärin koko- naistyyppiä  $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ , liukoista tyyppiä  $72 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$  ja kokonaisfosforia  $17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ . Väkilannoituksessa vertailukäsittelynä keväisin levitetty ravinnemäärät olivat  $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ,  $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ .

Tutkimuksen pääpaino oli eri lannoituskäsittelyjen aiheuttamissa ravinnehuuhtoutumissa salaojavesiin. Pintavesihuuhtoutumat olivat yleensä alle 5 % kokonaishuuhtoutumista. Työssä tarkasteltiin eri vuodenaikojen ja eri vuosien huuhtoutumia, käyttäen toistettujen mittausten varianssianalyysia. Vuosihuuhtoutumat laskettiin ajalle 1.12. - 30.11. Erityisesti verrattiin kevään ja syksyn huuhtoutumia (kevät = maaliskuu - toukokuu, syksy = loka- ja marraskuu). Talven (joulukuu - helmikuu) ja kesän (kesä - syyskuu) huuhtoutumat olivat yleensä pieniä.

Lietelannan levitys talvella aiheutti vuosien 1984 - 87 keskiarvona kaikista lannoituskäsittelyistä suurimmat kokonaisfosforin ( $1,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ) ja fosfaattifosforin ( $0,91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ) sekä ammoniumtypen huuhtoutumat ( $4,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ ). Syksyinen lietelannan levitys aiheutti lietelannan levityksistä suurimmat kokonaistypen ( $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ ) ja nitraattitypen huuhtoutumat ( $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ ). Vuosien 1986 - 87 keskiarvona liukoista fosfaattifosforia huuhtoutui eniten syyslevityksestä ( $0,52 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ ). Lietelannan syyslevitysrutujen huuhtoutumia nosti ko. rutujen ylimääräinen lietelannoitus talvella 1986. Lietelannan levitykseen syksyllä on syytä suhtautua varauksellisesti vesiensuojelun kannalta, sillä siitä saattaa aiheutua huomattava typen että fosforin huuhtoutumista. Lietelannoitusta samalle peltolohkolle syksyllä ja seuraavana talvena ei tulisi tehdä suurten ravinnehuuhtoutumien takia. Suurten ravinnehuuhtoutumien vuoksi lietelannan talvilevityksestä tulisi kokonaan luopua.

Pienimmät ravinteiden huuhtoutumat lietelantakäsittelyistä aiheutuivat keväällä ennen kylvöä tehdystä levityksestä. Keväisen lietelannan levityksen aiheuttamat fosforihuuhtoutumat olivat kokonaisfosforia  $0,62 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$  sekä fosfaattifosforia noin  $0,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ P}$ , joten ne olivat vertailukäsittelyn kanssa jokseenkin yhtä suuret.



## KIRJALLISUUS

- Ahtiainen, M. 1984. Run-off of sludge constituents from sewage sludge application and its environmental effects. The 6th European Sewage and Refuse Symposium, Munich, May 21-25, 1984. 9 s.
- Ahtiainen, M. 1987. Asumajätevesilietteen ja lietelannan huuhtoutuminen. Maatalous ja ympäristö, Kanta-Hämeen kesäyliopisto 1.6.1987. Moniste, 7 s.
- Asmus, F. & Hübner, C. 1990. N-Verluste durch Ammoniakverflüchtigung nach dem Ausbringen von Stallmist und Gülle. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 34: 123-130.
- Aura, E. 1990. Salaojien toimivuus savimaassa. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 10/90. 93 s. ISSN 0359-7652.
- Bengtsson, L., Seuna, P., Lepistö, A. & Saxena, R. J. 1992. Particle movement of meltwater in a subdrained agricultural basin. J. of Hydrology 135: 383-398.
- Bergström, L. 1987. Leaching of 15-N-labeled nitrate fertilizer applied to barley and a grass ley. Acta Agric. Scand. 37: 199-206.
- Bertilsson, G. 1988. Lysimeter studies of nitrogen leaching and nitrogen balances as affected by agricultural practices. Acta Agric. Scand. 38: 3-11.
- Bock, B., Lawrence, J. E. & Williams, H. M. 1981. Relative mobility of DCD,  $\text{NH}_4^+$  and urea by mass flow in soils. Technical workshop on DCD. Muscle Shoals, Alabama (USA), 25-36. Ref. Kempainen, E. 1988.
- Bolton, E. F., Aylesworth, J. W. & Hore, F. R. 1970. Nutrient losses through tile drains under three cropping systems and two fertility levels on a Brookston clay soil. Can. J. Soil Sci. 50: 275-279.
- Brink, N. 1978. Kväeutlakning från odlingsmark. Abstract. Nitrogen leaching from arable land. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 2: 31-39. ISBN 91-7088-951-1, ISSN 0347-9307.
- Brink, N. 1984. Faktorer som påverkar växtnäringsförluster i åkermark. Helsingfors, Nordforsk. Tjugonde nordiska symposiet om vattenforskning, Hägersten 8.-10.5.1984. Nordforsk Miljövårdsserien. Publikation 1984:2: 79-88. ISSN 0358-755X.
- Brink, N. 1987. Kväve och fosfor från stallgödsblad åker. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 24: 38-39. ISBN 91-576-3089-5, ISSN 0347-9307.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. English summary: Losses of nutrients from arable land. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 1:1-60. ISBN 91-7088-823-X, ISSN 0347-9307.



- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1979. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. Abstract: Losses of nitrogen, phosphorus and potassium from arable land. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 4: 7-57. ISBN 91-576-0237-9, ISSN 0347-9307.
- Brink, N., Gustavsson, A. S. & Ulén, B. 1983. Yttransport av växtnäring från stallgödslad åker. Abstract: Surface transport of plant nutrients from field spread with manure. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 13: 3-14. ISBN 91-576-1514-4, ISSN 0347-9307.
- Brink, N. & Jernlås, R. 1982. Utlakning vid spridning höst och vår av flytgödsel. Abstract: Leaching after spreading of liquid manure in autumn and spring. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 12: 3-14. ISSN 0347-9307.
- Brink, N. & Joelsson, A. 1978. Stallgödsel på villovägar. Abstract: Manure gone astray. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 2: 1-15. ISBN 91-7088-951-1, ISSN 0347-9307.
- Britschgi, R. 1989. Tutkimus peltolannoituksen vaikutuksesta pohjaveden kemialliseen koostumukseen ja laatuun Rengon maanviljelysalueella. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 106 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 172. ISBN 951-47-2410-0, ISSN 0738-3288.
- Børresen, T. & Uhlen, G. 1991. Jorderosjon og fosfortap ved overflateavrenning i fletlysimeter i Ås vinteren 1989/90. Abstract: Soil erosion and phosphorus losses in winter surface runoff in field lysimeters at Ås 1989-90. Norsk landbruksforskning 5: 47-54.
- Dilz, K., Postmus, J. & Prins, W. H. 1990. Residual effect of long-term applications of farmyard manure to silage maize. Fert. Res. 26: 249-252.
- Duynisveld, W. H. M., Strebel, O. & Böttcher, J. 1988. Are nitrate leaching from arable land and nitrate pollution of groundwater avoidable? Ecol. Bull. (Copenhagen) 39: 116-125.
- Ekholm, P. 1992. Maataloudesta peräisin oleva fosfori vesien rehevöittäjänä. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 39-46. ISBN: 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Ellström, S. & Brink, N. 1987. Stallgödslad och konstgödslad åker läcker växtnäring. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 24: 27-36. ISBN 91-576-3089-5, ISSN 0347-9307.
- van Faassen, H. G. & van Dijk, H. 1987. Manure as a source of nitrogen and phosphorus in soils. Julk.: van der Meer, H. G., Unwin, R. J., van Dijk, T. A. & Ennik, G. C. (toim.). Animal manure on grassland and fodder crops. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. S. 27-45. ISBN 90-247-3568-8.
- Furrer, O. J. & Gupta, S. K. 1985. Phosphate balance in long-term sewage sludge and pig slurry fertilized field experiment. Julk.: Williams, J. H., Guidi, G. & L'Hermite, P. (toim.). Long-term effects of sewage sludge and farm slurries applications. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 146-150. ISBN 0-85334-399-3.

- Gerritse, R. G. 1978. Mobility of organic phosphorus compounds from pig slurry in the soil. Inst. voor bodemvruchtbaarheid, Haren. Rapport 10-78. 20 s.
- Gustafson, A. 1983. Leaching of nitrate from arable land into groundwater in Sweden. *Environ. Geol.* 5, 2: 65-71.
- Gustafson, A. 1987. Nitrate leaching from arable land in Sweden under four cropping systems. *Swedish J. Agric. Res.* 17: 169-177.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1984a. Växtnäringsförluster i Vagle. Abstract: Leaching of nutrients at Vagle. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. *Ekohydrologi* 15: 27-37. ISBN 91-576-1866-6, ISSN 0347-9307.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1984b. Växtnäringsförluster i Offer. Abstract: Leaching of nutrients at Offer. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. *Ekohydrologi* 15: 39-52. ISBN 91-576-1866-6, ISSN 0347-9307.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1988. Växtnäringsläckage efter vallbrott. Abstract: Leaching of nutrients after ploughing a ley. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. *Ekohydrologi* 26: 29-41. ISBN 91-576-3627-3, ISSN 0347-9307.
- Hansen, B. & Olesen, S. E. 1991. Leaching of plant nutrients from cultivated areas. København, Miljøstyrelsen. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A-abstracts: 135-148. ISBN 87-503-9069-4.
- Hartikainen, H. 1979. Phosphorus and its reactions in terrestrial soils and lake sediments. *J. Scient. Agric. Soc.* 51: 537-624.
- Hartikainen, H. 1982. Water soluble phosphorus in Finnish mineral soils and its dependence on soil properties. *J. Scient. Agric. Soc.* 54: 89-98.
- Hartikainen, H. 1989. Effect of cumulative fertilizer dressings on the phosphorus status of mineral soils. I. Changes in inorganic phosphorus fractions. *J. Agric. Sci. Finl.* 61: 55-59.
- Huhta, H. 1989a. Typen ja fosforin huuhtoutuminen turvemaan nurmesta ja viljapellosta. Koetoiminta ja käytäntö 46: 47. Maaseudun Tulevaisuuden liite 20.6.1989.
- Huhta, H. 1989b. Kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin huuhtoutuminen turvemaan nurmesta ja viljapellosta. Koetoiminta ja käytäntö 46: 78. Maaseudun Tulevaisuuden liite 19.12.1989.
- Holma, M. 1981. Esitutkimus lannan hyväksikäytöstä. Helsinki, SITRA. 65 s.
- Isermann, K. 1990. Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication. *Fert. Res.* 26: 253-269.
- Isotalo, I. 1979. Lietelannan ja jätevesilietteen talvilevityksenhaitat. *Teho* 1/1979: 47-49.
- Jaakkola, A. 1984a. Leaching losses of nitrogen from a clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 79: 59-66.

- Jaakkola, A. 1984b. Alternativ till konventionella odlingsmetoder. Helsingfors, Nordforsk. Tjugonde nordiska symposiet om vattenforskning, Hägersten 8.-10.5.1984. Nordforsk Miljö-årdsserien. Publikation 1984:2: 229-236. ISSN 0358-755X.
- Jarvis, S. C., Sherwood, M. & Steenvoorden, J. H. A. M. 1987. Nitrogen losses from animal manures: from grazed pastures and from applied slurry. Julk.: van der Meer, H. G., Unwin, R. J., van Dijk, T. A. & Ennik, G. C. (toim.). Animal manure on grassland and fodder crops. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers. S. 195-212. ISBN 90-247-3568-8.
- Joelsson, A. 1981. Ytavspolning av fosfor från åkermark. Abstract: Storm washing of phosphorus from arable land. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 8: 23-29. ISBN 91-576-0783-4, ISSN 0347-9307.
- Jokinen, R. 1989. Fosforin saostukseen käytettävien kemikaalien vaikutus jätevesilietteiden ominaisuuksiin sekä käyttöarvoon lannoitteena ja maanparannusaineena. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 18/89: 1-54. ISSN 0359-7652.
- Kauppi, L. 1979. Phosphorus and nitrogen input from rural population, agriculture and forest fertilization to watercourses. Helsinki, vesihallitus. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 34: 35-46. ISBN 951-46-4609-6, ISSN 0355-0982.
- Kauppi, L. 1984. Contribution of agricultural loading to the deterioration of surface waters in Finland. Helsinki, vesihallitus. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 57: 24-30. ISBN 951-46-8081-2, ISSN 0355-0982.
- Kauppi, L., Rekolainen, S. & Knuuttila, K. 1988. Nutrients and phytoplankton production in an agriculturally loaded lake. Ecol. Bull. (Copenhagen) 39: 149-150.
- Kauppi, L., Sandman, O., Knuuttila, S., Eskonen, K., Liehu, A., Luokkanen, S. & Niemi, M. 1990. Maankäytön merkitys vesien käytölle haitallisten sinileväkukintojen esiintymisessä. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 55 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja sarja A 48. ISBN 951-47-3614-1, ISSN 0786-9592.
- Kauppi, L., Pietiläinen, O.-P. & Knuuttila, S. 1992. Maatalouden kuormituksen rehevöittävä vaikutus pienessä järvestä. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 67-73. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Kemira Oy. 1991. Lannoitteiden myynnin jakautuminen maatalouskeskusalueittain lannoitusvuonna 1990/1991. 16 s.
- Kemppainen, E. 1984. Karjanlannan ravinnepitoisuus ja syyt sen vaihteluun. Helsinki, SITRA. 80 s. Biologisen typensidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 11.
- Kemppainen, E. 1985. Lietelanta ohran lannoitteena. Helsinki, SITRA. 66 s. Biologisen typensidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 21.
- Kemppainen, E. 1986. Karjanlannan hoito ja käyttö Suomessa. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 102 s. Tiedote 2/86. ISSN 0359-7652.

- Kemppainen, E. 1988. Didinin (Disyandiamidi) vaikutus naudan lietelannan tehoon ohran lannoitteena. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 35 s. Tiedote 19/88. ISSN 0359-7652.
- Kemppainen, E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Ann. Agric. Fenn.* 28: 169-284.
- Kemppainen, E. 1992. Karjanlannan typen ja fosforin huuhtoutuminen lysimetrikokeessa. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 153-170. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Kemppainen, E. & Hakkola, H. 1986. Lietelanta nurmen peruslannoitteena. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 35 s. Tiedote 3/86. ISSN 0359-7652.
- Kemppainen, E. & Heimo, M. 1981. Karjanlannan hyväksikäytön tehostaminen. Kirjallisuustutkimus. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 89 s. Tiedote 14/81. ISSN 0359-7652.
- Kemppainen, E. & Heimo, M. 1983. Förbättring av stallgödselns utnyttjande. Litteraturöversikt. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 81 s. Tiedote 6/83. ISSN 0359-7652.
- Kiely, P. V. 1981. Gaseous nitrogen losses from slurry. Julk.: Brogan, J. C. (toim.). Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. *Developments in Plant and Soil Sciences*, Vol. 2: 412-415. ISBN 90-247-2405-8.
- Kjellerup, V. 1986a. Nitrogen effect of slurry mixed with nitrification inhibitors: field experiments. Julk.: Kofoed, A. Dam, Williams, J. H. L'Hermite, P. (toim.). Efficient land use of sludge and manure. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 2-6. ISBN 1-85166-006-2.
- Kjellerup, V. 1986b. Agros nitrogen meter for estimation of ammonium nitrogen in slurry and liquid manure. Julk.: Kofoed, A. Dam, Williams, J. H. L'Hermite, P. (toim.). Efficient land use of sludge and manure. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 216-223. ISBN 1-85166-006-2.
- Knuuttila, S., Kallio, K. & Salo, S. 1992. Maatalouden kuormituksen rehevöittävä vaikutus pienessä järvessä. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 51-66. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Kofoed, A. Dam & Nemming, O. 1980. Experiments on heavy applications of animal manure to land. Julk.: Gasser, J. K. R. (toim.). Effluents from livestock. London, Applied Science Publishers Ltd. S. 184-218. ISBN 0-85334-895-2.
- Kofoed, A. Dam & Klausen, P. S. 1986. Leaching of nutrients from sewage sludge and animal manure. Julk.: Kofoed, A. Dam, Williams, J. H. L'Hermite, P. (toim.). Efficient land use of sludge and manure. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 224-236. ISBN 1-85166-006-2.

- Kumm, K.-I. 1984. Ekonomisk analys av alternativ för stallgödselns utnyttjande. Helsingfors, Nordforsk. Tjugonde nordiska symposiet om vattenforskning, Hägersten 8.-10.5.1984. Nordforsk Miljövårdsserien. Publikation 1984:2: 223-227. ISSN 0358-755X.
- Kuusisto, E. 1984. Snow accumulation and snowmelt in Finland. Helsinki, vesihallitus. 149 s. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 55. ISBN 951-46-7494-4, ISSN 0355-0982.
- Kähäri, J. 1974. Lietelannan kasvinravinnepitoisuuksista. Summary: Plant nutrient content of liquid manure. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 46: 215-219.
- Kähäri, J., Mäntylähti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981 - 1985. Helsinki, Viljavuuspalvelu Oy. 105 s.
- de la Lande Cremer, L. C. N. 1986. Preliminary results with the nitrification inhibitor disyandiamide (DCD) in the Netherlands. Julk.: Kofoed, A. Dam, Williams, J. H. L'Hermite, P. (toim.). Efficient land use of sludge and manure. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 7-11. ISBN 1-85166-006-2.
- L'Hermite, P. & Dehandtschutter, J. 1980. 1975 - 1978: research on effluents from intensive livestock in the European Communities. Julk.: Gasser, J. K. R. (toim.). Effluents from livestock. London, Applied Science Publishers Ltd. S. 677-702. ISBN 0-85334-895-2.
- Maidl, F. X. & Fischbeck, G. 1989. Effects of long-term application of slurry on soil nitrogen mineralization. J. Agr. Crop Science 162: 310-319.
- Malin, A. & Pahkinen, E. 1990. Monimuuttujaisen varianssianalyysin ja toistomittauksen soveltaminen käyttäytymistieteellisissä tutkimuksissa. Jyväskylä, Jyväskylän yliopisto. 216 s. Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja B. Teoriaa ja käytäntöä 47. ISBN 951-680-265-6, ISSN 0782-9817.
- Melanen, M., Jaakkola, A., Melkas, M., Ahtiainen, M. & Matinvesi, J. 1985. Leaching resulting from land application of sewage sludge and slurry. Helsinki, vesihallitus. 124 s. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 61. ISBN 951-46-8843-0, ISSN 0355-0982.
- Melkas, M. 1985. Pellolle levitetystä karjanlannasta aiheutuva huuhtoutuminen. Helsinki, vesihallitus. 26 s. Vesihallituksen monistesarja 370. ISBN 951-46-8941-0, ISSN 0358-7169.
- Melkas, M. & Ahtiainen, M. 1986. Fältförsök med spridning av stallgödsel. NJF-seminarium nr 109, 23.-25.9.1986, Jokioinen. 5 s.
- Melkas, M., Melanen, M., Jaakkola, A., Ahtiainen, M. & Matinvesi, J. 1985. Peltomaalle levitetystä jätevesilietteestä aiheutuva huuhtoutuminen. Ympäristö ja Terveys 1985, 1: 14-16.
- Mostaghimi, S., Flagg, J. M., Dillaha, T. A. & Shanholtz, V. O. 1988. Phosphorus losses from cropland as affected by tillage system and fertilizer application method. Water Res. Bull. 24, 4: 735-742.

- Nielsen, N. E. & Jensen, H. E. 1990. Nitrate leaching from loamy soils as affected by crop rotation and nitrogen fertilizer application. *Fert. Res.* 26: 197–207.
- Overgaard, K. 1984. Nitrate pollution of groundwater. Helsingfors, Nordforsk. Tjugonde nordiska symposiet om vattenforskning, Hägersten 8.–10.5.1984. Nordforsk Miljövårdsserien. Publikation 1984:2: 107–118. ISSN 0358–755X.
- Palko, J. 1988. Happamien sulfaattimaiden kuivatus ja kalkitus Limingan koekentällä 1984–1987. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 86 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 19. ISBN 951–47–1512–8, ISSN 0783–327X.
- Perälä, J. & Reuna, M. 1990. Lumen vesiarvon alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 257 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 56. ISBN 951–47–3721–0, ISSN 0786–9592.
- Pietiläinen, O.-P. & Rekolainen, S. 1991. Dissolved reactive and total phosphorus load from agricultural and forested basins to surface waters in Finland. *Aqua Fennica* 21,2: 127–137.
- Puustinen, M. 1992. Peltoviljelyksestä aiheutuvan vesistökuormituksen vähentäminen. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 107–121. ISBN 951–47–5562–6, ISSN 0783–3288.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, H. 1991. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. 3. korjattu painos. Helsinki, Yliopistopaino. 569 s. ISBN 951–570–085–X.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica* 19, 2: 95–107.
- Rekolainen, S. & Kauppi, L. 1988. Arvio Maatalous 2000 –komitean esittämien toimenpiteiden vaikutuksista ympäristöön. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 26: 69–99. ISBN 951–47–2157–8, ISSN 0783–327X.
- Rekolainen, S., Kauppi, L. & Turtola, E. 1992. Maatalous ja vesien tila. MAVERON loppuraportti. Helsinki, maa- ja metsätalousministeriö. 61 s.
- Relander, L. 1907. Karjanlannan kokoamisesta ja hoidosta. Itä-Karjalan Maanviljelysseuran kirjasia. Sortavala. 16 s.
- SAS. 1990. SAS/STAT. User's guide. Cary, NC, USA, SAS Institute Inc. Version 6, 4th ed. Vol. 2. 846 s.
- Seuna, P. 1982. Pienten alueiden valumien toistuvuusanalyysi. Frequency analysis of runoff of small basins. Helsinki, vesihallitus. 77 s. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 48. ISBN 951–46–6721–2, ISSN 0355–0982.
- Seuna, P. & Kauppi, L. 1981. Influence of sub-drainage on water quantity and quality in a cultivated area in Finland. Helsinki, vesihallitus. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 43: 32–47. ISBN 951–46–6067–6, ISSN 0355–0982.

- Sherwood, M. & Fanning, A. 1981. Nutrient content of surface run-off water from land treated with animal wastes. Julk.: Brogan, J. C. (toim.). Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. Developments in Plant and Soil Sciences, Vol. 2: 5-17. ISBN 90-247-2405-8.
- Siman, G., Kofoed, A. D., Larsen, K. E., Kemppainen, E. & Steineck, S. 1987. Utilization of nitrogen from slurry applied to fodder crops. Research report from the Nordic countries, Denmark, Finland and Sweden. Julk.: van der Meer, H. G., Unwin, R. J., van Dijk, T. A. & Ennik, G. C. (toim.). Animal manure on grassland and fodder crops. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers. S. 157-173. ISBN 90-247-3568-8.
- Sippola, J. & Saarela, I. 1992. Suomen maalajien fosforinpidätysominaisuudet ja niiden merkitys vesien kuormituksen kannalta. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 27-36. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Sippola, J. & Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. Ann. Agric. Fenn. 24: 117-124.
- Sluijsmans, C. M. J. & Kolenbrander, G. J. 1977. The significance of animal manure as a source of nitrogen in soils. Julk.: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture (SEFMIA). Tokio, Japan. S. 403-411.
- Smilde, K. W. 1980. Effects of landspreading of large amounts of livestock excreta on crop yield and crop and water quality. Julk.: Gasser, J. K. R. (toim.). Effluents from livestock. London, Applied Science Publishers Ltd. S. 23-29. ISBN 0-85334-895-2.
- Soveri, J. & Varjo, M. 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955-1975. English summary: On the formation and occurrence of soil frost in Finland 1955 to 1975. Helsinki, vesihallitus. 66 s. National Board of Waters. Publ. Water Res. Inst. 20. ISBN 951-46-3118-8, ISSN 0355-098.
- Spallacci, P. & Boschi, V. 1985. Long-term effects of the landspreading of pig and cattle slurries on the accumulation and availability of soil nutrients. Julk.: Williams, J. H., Guidi, G. & L'Hermite, P. (toim.). Long-term effects of sewage sludge and farm slurries applications. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 33-44. ISBN 0-85334-399-3.
- Stauffer, W. & Enggist, A. 1990. Einfluss von Gülleausbringtermin, Kultur und Wiesenumbbruch auf die Nitratauswaschung in einem Lysimeterversuch. Landwirtschaft Schweiz 3, 7: 373-379.
- Steenhoven, J. H. A. M. 1986. Nutrient leaching losses following application of farm slurry and water quality considerations in The Netherlands. Julk.: Kofoed, A. Dam, Williams, J. H. L'Hermite, P. (toim.). Efficient land use of sludge and manure. London and New York, Elsevier Applied Science Publishers Ltd. S. 168-176. ISBN 1-85166-006-2.
- Strebel, O., Duynisveld, W. H. M. & Böttcher, J. 1989. Nitrate pollution of groundwater in Western Europe. Agriculture Ecosystems and Environment 26: 189-214.



- Tiainen, I. & Puustinen, M. 1989. Peltoviljelyn vaikutus eroosioon. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 71 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 190. ISBN 951-47-2429-1, ISSN 0783-3288.
- Timmons, D. R., Burwell, R.E. & Holt, R. F. 1973. Nitrogen and phosphorus losses in surface runoff from agricultural land as influenced by placement of broadcast fertilizer. *Water Res. Research* 9, 3: 658-667.
- Turtola, E. 1992. Kesannointimenetelmän vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 135-145. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Turtola, E. & Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 43 s. Tiedote 6/85. ISSN 0359-7652.
- Turtola, E. & Jaakkola, A. 1986. Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin ja kloridin huuhtoutumiseen savimaasta. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 43 s. Tiedote 17/86. ISSN 0359-7652.
- Turtola, E. & Jaakkola, A. 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983-1986. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. 36 s. Tiedote 22/87. ISSN 0359-7652.
- Uhlen, G. 1978a. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. I. Runoff measurements, water composition and nutrient balances. *Meld. Norges landbr. hogsk.* 57, 27: 1-26.
- Uhlen, G. 1978b. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. II. Effects of farmyard manure spread on a frozen ground and mixed in the soil on water pollution. *Meld. Norges landbr. hogsk.* 57, 28: 1-23.
- Uhlen, G. 1978c. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. III. Seasonal variation in chemical composition of the drainage water. *Meld. Norges landbr. hogsk.* 57, 29: 1-22.
- Uhlen, G. 1981. Surface run-off and the use of farm manure. Julk. Brogan, J. C. (toim.). Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. *Developments in Plant and Soil Sciences*, Vol. 2: 34-43. ISBN 90-247-2405-8.
- Uhlen, G. 1989a. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. Nutrient balances 1974-81. *Norwegian J. of Agric. Sci.* 3: 33-46.
- Uhlen, G. 1989b. Surface runoff losses of phosphorus and other nutrient elements from fertilized grassland. *Norwegian J. of Agric. Sci.* 3: 47-55.
- Uhlen, G. 1991. Long-term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. *Acta Agric. Scand.* 41: 119-127.



- Uhlen, G. & Østerud, J. G. 1992. Nitrogen, fosfor og kalium i grøftevannsprøver fra dyrket mark. Abstract: Nitrogen, phosphorus and potassium in drainage water from cultivated land. Norsk landbruksforskning 6: 61-72.
- Ulén, B. 1982. Erosion av fosfor från åker. Abstract: Erosion of phosphorus from arable land. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 11: 29-36. ISBN 91-576-1217-X, ISSN 0347-9307.
- Ulén, B. 1984a. Påverkan på yt-, dränerings- och grundvatten vid Ekenäs. Abstract: Influence on surface water, drainage water and groundwater at Ekenäs. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 18: 3-38. ISBN 91-576-2189-6, ISSN 0347-9307.
- Ulén, B. 1984b. Nitrogen and phosphorus to surface water from crop residues. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 18: 39-44. ISBN 91-576-2189-6, ISSN 0347-9307.
- Ulén, B. 1985. Fosforerosion vid vallodling och skyddszon med gräs. Abstract: Phosphorus erosion under ley cropping and a grass protective zone. Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, Avdelningen för vattenvård. Ekohydrologi 26: 23-28. ISBN 91-576-3627-3, ISSN 0347-9307.
- Unwin, R. J. 1981. Phosphorus accumulation and mobility from large application of slurry. Julk.: Hucker, T. W. G. & Catroux, G. (toim.). Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company. S. 333-344. ISBN 90-277-0317-5.
- Wantulla, A., Vollmer, F.J. & Kühbauch, W. 1988. Einfluss von Düngemassnahmen auf die Stickstoffauswaschung bei mehrjährigem Silomaisanbau. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151: 97-102.
- Vesihallitus. 1974. Mäntyniemen kartanon lietalannan huuhtoutumistutkimus keväällä 1974. Kesälahti. Joensuu, Pohjois-Karjalan vesipiirin vesitoimisto. 4 s. Moniste.
- Vesihallitus. 1981a. Vesiensuojelunäkökohtien huomioonottaminen sikalajätteiden käsittelyssä ja hyödyntämisessä sekä sen soveltaminen muille karjatalousjätteille. Helsinki, vesihallitus. Valvontaohje 48. 7 s.
- Vesihallitus. 1981b. Vesihallinnon analyysimenetelmät. Helsinki, vesihallitus. 136 s. Tiedotus 213. ISBN 951-46-6001-3, ISSN 0355-0745.
- Vesihallitus. 1984. Hydrologiset havainto- ja mittausmenetelmät. Helsinki, vesihallitus. 88 s. Vesihallituksen julkaisuja 47. ISBN 951-46-7491-X, ISSN 0355-9297.
- Vesi- ja ympäristöhallitus. 1987. Hydrologinen vuosikirja 1981 - 1983. Hydrological yearbook 1981 - 1983. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 238 s. Publ. Water Res. Inst. 66. ISBN 951-47-1557-8, ISSN 0356-4053.
- Vesi- ja ympäristöhallitus. 1990. Hydrologinen vuosikirja 1984 - 1986. Hydrological yearbook 1984 - 1986. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. S. 235. ISBN 951-47-4282-6, ISSN 0356-4053.

- Vesi- ja ympäristöhallitus. 1991. Hydrologinen vuosikirja 1987 - 1988. Hydrological yearbook 1987 - 1988. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. S. 207. ISBN 951-47-4734-8, ISSN 0356-4053.
- Vetter, H. & Steffens, G. 1981a. Phosphorus accumulation in soil profiles and phosphorus losses after the application of animal manures. Julk.: Hucker, T. W. G. & Catroux, C. (toim.). Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries. Dordrecht, D. Reider Publishing Company. S. 309-327. ISBN 90-277-0317-5.
- Vetter, H. & Steffens, G. 1981b. Leaching of nitrogen after the spreading of slurry. Julk.: Brogan, J. C. (toim.). Nitrogen losses and surface run-off from landspreading of manures. Developments in Plant and Soil Sciences, Vol. 2: 251-269. ISBN 90-247-2405-8.
- Wiklander, L. 1977. Leaching plant nutrients in soils. IV. Contents in drainage water and ground water. Acta Agric. Scand. 27: 175-189.
- Vinten, A. J. A., Howard, R. S. & Redman, M. H. 1991. Measurement of nitrate leaching losses from arable plots under different nitrogen input regimes. Soil Use and Management 7, 1: 3-14.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Publ. 63: 1-44.
- Ylärinta, T., Uusi-Kämpä, J. & Jaakkola, A. 1992. Typen huuhtoutuminen ja hyväksikäyttö lysimetrikokeessa. Julk.: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 17-25. ISBN 951-47-5562-6, ISSN 0783-3288.
- Ympäristöministeriö. 1988. Vesiensuojelun tavoiteohjelma vuoteen 1995. Valtioneuvoston periaatepäätös. Helsinki, ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. 49 s. Sarja B, 12:1988. ISBN 951-47-2061-X, ISSN 0784-8137.

## LIITTEET

Liite 1. Sadanta (mm) Liperin Kaatamon sadeasemalla vuosina 1983 – 1988 ja lämpötila Joensuun lentokentällä vuosina 1983 – 1988 sekä poikkeamat jakson 1931 – 1960 keskiarvosta Joensuun lentoasemalla.

Liite 2a. Routa (cm) Liperin koekentällä vuosina 1983 – 1988.

Liite 2b. Lumen syvyys (cm) ja lumen vesi-arvo (mm) Liperin kentällä vuosina 1983 – 1988.

Liite 3. Vuotuinen keskivalunta (mm) Liperin kentällä vuosina 1983 – 1988.

Liite 4a. Fosforihuuhtoutumat ( $P \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuodenaika}^{-1}$ ) salaojavesissä vuodenajoittain vuosina 1983–1985.

Liite 4b. Fosforihuuhtoutumat ( $P \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuodenaika}^{-1}$ ) salaojavesissä vuodenajoittain vuosina 1986–1988.

Liite 5a. Typpihuuhtoutumat ( $N \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuodenaika}^{-1}$ ) salaojavesissä vuodenajoittain vuosina 1983–1985.

Liite 5b. Typpihuuhtoutumat ( $N \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuodenaika}^{-1}$ ) salaojavesissä vuodenajoittain vuosina 1986–1988.

Liite 6a. Kokonaisfosforin kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko.

Liite 6b. Kokonaisfosforin kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko: lannoitus-käsittelyt (1–4) ja niiden kontrastit vertailukäsittelyyn (1) nähden.

Liite 7a. Fosfaattifosforin kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko.

Liite 7b. Fosfaattifosforin kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko: lannoitus-käsittelyt (1–4) ja niiden kontrastit vertailukäsittelyyn (1) nähden.

Liite 8a. Kokonaistypen kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko.

Liite 8b. Kokonaistypen kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko: lannoitus-käsittelyt (1–4) ja niiden kontrastit vertailukäsittelyyn (1) nähden.

Liite 9a. Nitraattitypen kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko.

Liite 9b. Nitraattitypen kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko: lannoitus-käsittelyt (1–4) ja niiden kontrastit vertailukäsittelyyn (1) nähden.

Liite 10a. Ammoniumtypen kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko.

Liite 10b. Ammoniumtypen kevät- ja syksyhuuhtoutumien toistettujen mittausten varianssitaulukko: lannoitus-käsittelyt (1–4) ja niiden kontrastit vertailukäsittelyyn (1) nähden.

## LIITE 1/1

**LIITE 1. SADANTA (MM) LIPERIN KAATAMON SADEASEMALLA  
VUOSINA 1983 - 1988 JA LÄMPÖTILA JOENSUUN LENTO-  
KENTÄLLÄ VUOSINA 1983 - 1988 SEKÄ POIKKEAMAT JAKSON  
1931 - 1960 KESKIARVOSTA JOENSUUN LENTOASEMALLA.**

Vuosi	Kk	Sadanta (mm)		Lämpötila (°C)	
		Havaittu	Poikkeama jak- sosta <sup>1)</sup>	Havaittu	Poikkeama jaksosta <sup>2)</sup>
1983	I	65,6	+21	-6,1	+4,4
	II	10,3	-24	-12,7	-2,3
	III	58,5	+29	-4,9	+1,5
	IV	55,7	+23	3,1	+2,2
	V	53,7	+16	10,6	+2,8
	VI	42,3	-16	13,1	-0,5
	VII	43,4	-29	18,0	+1,3
	VIII	52,0	-21	14,1	-0,7
	IX	128,9	+63	10,2	+1,0
	X	95,3	+33	3,5	+0,4
	XI	80,7	+31	-6,1	-4,2
	XII	54,6	+10	-7,3	-0,8
	I-XII	740,9	+136	$\bar{x}$ 2,96	+0,5
1984	I	66,4	+21	-8,2	+2,3
	II	30,8	-3	-8,3	+2,1
	III	25,6	-3	-6,7	+0,3
	IV	39,4	+6	3,1	+2,2
	V	47,8	+10	12,5	+4,7
	VI	63,6	+6	14,0	+0,4
	VII	53,6	-18	16,1	+0,6
	VIII	67,1	-6	13,6	-1,2
	IX	59,0	-7	8,6	-0,6
	X	95,3	+33	4,9	+1,8
	XI	27,4	-23	-2,0	-0,1
	XII	42,5	-2	-6,8	-0,3
	I-XII	618,5	+14	$\bar{x}$ 3,4	+0,9
1985	I	15,7	-29	-21,2	-10,7
	II	19,4	-15	-19,8	-9,4
	III	21,6	-7	-4,4	+2,0
	IV	48,4	+15	-1,0	-1,9
	V	33,8	-4	7,3	-0,5
	VI	58,6	+1	13,1	-0,5
	VII	37,6	-34	15,7	-1,0
	VIII	107,5	+35	15,7	+0,9
	IX	68,8	+3	9,2	0
	X	67,8	+6	4,6	+1,5
	XI	51,6	+2	-4,0	-2,1
	XII	62,7	+18	-11,2	-4,7
	I-XII	593,5	-11	$\bar{x}$ 0,3	-2,2

## LIITE 1/2

Vuosi	Kk	Sadanta (mm)		Lämpötila (°C)	
		Havaittu	Poikkeama jaksosta <sup>1)</sup>	Havaittu	Poikkeama jaksosta <sup>2)</sup>
1986	I	56,6	+12	-12,7	-2,2
	II	19,2	-5	-15,4	-5,0
	III	26,0	-3	-2,3	-4,1
	IV	8,1	-25	0,7	-0,2
	V	51,9	+14	8,4	+0,6
	VI	9,5	-48	17,1	+3,5
	VII	55,0	-17	17,4	+0,7
	VIII	84,3	+11	12,4	-2,4
	IX	89,0	+23	5,9	-3,3
	X	31,7	-30	3,7	+0,6
	XI	101,1	+51	1,6	+3,5
	XII	59,5	+15	-13,4	-6,9
	I-XII	591,9	-13	$\bar{x}$ 0,5	-2,0
1987	I	18,9	-26	-22,3	-11,8
	II	35,2	+1	-11,4	-1,0
	III	28,9	0	-7,8	-1,4
	IV	5,0	-28	0,1	-0,8
	V	37,5	0	7,1	-0,7
	VI	74,8	+17	13,4	-0,2
	VII	108,6	+37	14,6	-2,1
	VIII	110,6	+38	11,1	-3,7
	IX	86,7	+21	7,5	-1,7
	X	41,3	-21	5,5	+2,4
	XI	37,1	-13	-5,5	-3,6
	XII	51,8	+7	-10,8	-4,3
	I-XII	636,4	+31	$\bar{x}$ 0,1	-2,4
1988	I	36,4	-9	-8,2	+2,3
	II	51,2	+17	-8,5	+1,9
	III	33,6	+5	-4,4	+2,0
	IV	47,5	+15	-1,1	-2,0
	V	32,0	-6	9,1	+1,3
	VI	28,5	-29	16,2	+2,6
	VII	55,5	-16	19,4	+2,7
	VIII	107,7	+35	14,0	-0,8
	IX	60,5	-5	10,0	+0,8
	X	45,5	-16	3,2	+0,1
	XI	24,1	-26	-6,9	-5,0
	XII	51,0	-6	-10,3	-3,8
	I-XII	573,5	-31	$\bar{x}$ 2,7	+0,2

<sup>1)</sup> Poikkeama jakson 1931 - 1960 keskiarvosta

$\bar{x}$  = vuoden keskilämpötila

## LIITE 2/1

## LIITE 2A. ROUTA (CM) LIPERIN KOEKENTÄLLÄ VUOSINA 1983–1988.

Vuosi	Pvm	Routa (cm) ruuduittain							
		5	8	9	12	13	16	17	20
1983	1.3.	0	0	0	0	0	0	0	0
	16.3.	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.4.	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	10.1.	0	0	0	0	0	0	0	0
	12.3.	0	0	0	0	0	0	0	0
	30.3	0	0	0	0	0	0	0	0
	12.11.	7	7	9	6	10	8	12	7
	19.11.	7	7	9	6	10	8	..	8
	3.12.	21	14	18	17	17	24	23	18
	17.12.	21	18	19	21	19	23	26	17
1985	12.2.	32	30	38	36	37	42	32	32
	21.3.	37	35	43	38	40	45	45	34
	2.4.	35	35	38	36	38	40	42	30
1986	10.1.	27	35	33	28	38	35	29	27
	1.4.	32	36	34	29	40	40	33	29
1987	12.1.	33	11	33	16	35	26	18	42
	31.3.	50	26	52	31	56	45	45	63
	10.12.	7	8	10	9	13	5	9	7
1988	22.2.	15	13	20	20	24	16	14	14
	24.3.	19	16	24	24	27	20	17	18
	30.3.	19	16	23	23	26	19	17	17

.. = ei havaintoja

**LIITE 2B. LUMEN SYVYYS (CM) JA LUMEN VESIARVO (MM) LIPERIN KENTÄLLÄ  
VUOSINA 1983 – 1988.**

Vuosi	Pvm	Lumen syvyys (cm) ruuduittain Lumen vesiarvo (mm) ruuduittain							
		5	8	9	12	13	16	17	20
1983	16.3.	..	..	..	..	..	..	..	..
		107	107	107	107	107	107	107	107
	1.4.	..	..	..	..	..	..	..	..
		92	92	92	92	92	92	92	92
1984	10.1.	50	49	54	56	55	55	50	49
		132	166	137	154	143	148	143	155
	12.3.	75	80	76	76	80	76	73	74
		226	257	216	232	211	214	195	221
	30.3.	82	72	76	78	74	80	79	85
		229	213	229	221	238	227	236	225
	6.4.	47	50	49	60	50	56	50	53
		170	175	185	187	191	196	183	193
	13.4.	33	34	40	34	38	38	30	32
		125	121	117	116	117	112	109	113
1985	21.3.	36	47	43	49	51	51	52	52
		71	101	95	103	95	105	114	104
	2.4.	39	40	44	40	46	51	50	35
		74	103	100	105	108	105	115	105
1986	10.1.	38	36	36	38	35	36	37	38
		..	..	..	..	..	..	..	..
	1.4.	60	40	60	53	37	37	50	35
		232	140	269	185	142	142	186	140
1987	12.1.	22	30	23	27	20	25	25	20
		..	..	..	..	..	..	..	..
	31.3.	22	32	24	34	23	25	35	24
		57	79	62	87	56	64	84	58
	10.12.	34	36	38	38	40	39	35	35
		50	55	58	58	61	60	55	55
1988	22.2.	30	40	35	23	32	31	29	30
		125	167	146	96	134	129	121	125
	24.3.	59	65	58	54	54	55	51	64
		172	174	150	150	146	162	176	180
	30.3.	50	51	41	43	41	43	39	52
		174	155	148	148	123	148	143	168

.. = ei havaintoja



## LIITE 3/1

**LIITE 3. VUOTUINEN KESKIVALUNTA (MM) LIPERIN KENTÄLLÄ  
VUOSINA 1983 – 1988.**

Vuosi	Käsittelyt <sup>1)</sup>	Keskivalunta (mm)		
		Salaoja- vedet	Pinta- vedet	Yhteensä
1983	1	700	32	730
	2	650	5,3	660
	3	710	5,0	710
	4	650	6,0	660
	$\bar{x}$	<b>680</b>	<b>12</b>	<b>690</b>
1984	1	770	21	790
	2	700	6,4	710
	3	630	3,3	630
	4	600	7,5	610
	$\bar{x}$	<b>680</b>	<b>9,6</b>	<b>690</b>
1985	1	430	6,3	440
	2	340	7,5	350
	3	340	5,2	350
	4	450	16	470
	$\bar{x}$	<b>390</b>	<b>8,8</b>	<b>400</b>

Vuosi	Käsittelyt <sup>1)</sup>	Keskivalunta (mm)		
		Salaoja- vedet	Pinta- vedet	Yhteensä
1986	1	320	2,0	320
	2	340	1,9	340
	3	280	1,3	280
	4	300	1,3	300
	$\bar{x}$	<b>310</b>	<b>1,6</b>	<b>310</b>
1987	1	470	3,1	470
	2	400	3,2	400
	3	380	3,5	380
	4	390	3,2	390
	$\bar{x}$	<b>410</b>	<b>3,3</b>	<b>410</b>
1988	1	620	23	620
	2	540	13	550
	3	530	14	540
	4	430	5,7	440
	$\bar{x}$	<b>530</b>	<b>14</b>	<b>540</b>

<sup>1)</sup> Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

LIITE 4 A. FOSFORIHUUHTOUTUMAT (P KG HA<sup>-1</sup> VUODENAIKA<sup>-1</sup>) SALAOJAVESISSÄ  
VUODENAJOITTAIN VUOSINA 1983 – 85.

Käsittely Va	Kokonaisfosfori (kok. P)				Fosfaattifosfori (PO <sub>4</sub> -P)				Liuk.fosfaattifosfori (PO <sub>4</sub> -P)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Talvi 1982/83	0,0015	0,010	0,0087	0,0096	0,0058	0,0073	0,0060	0,0070	..	..	..	..
Kevät 1983	0,57	0,27	0,54	0,34	0,34	0,11	0,32	0,16	..	..	..	..
Kesä 1983	0,026	0,019	0,014	0,016	0,017	0,011	0,0077	0,0095	..	..	..	..
Syksy 1983	0,12	0,11	0,086	0,11	0,074	0,074	0,046	0,059	..	..	..	..
Talvi 1983/84	0,0057	0,0051	0,0045	0,0045	0,0046	0,0036	0,0029	0,0037	..	..	..	..
Kevät 1984	0,41	0,27	0,23	0,28	0,24	0,14	0,10	0,13	..	..	..	..
Kesä 1984	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Syksy 1984	0,20	0,62	0,15	0,19	0,11	0,31	0,070	0,090	..	..	..	..
Talvi 1984/85	0,0018	0,0025	0,0010	0,0011	0,0014	0,0020	0,00080	0,00090	..	..	..	..
Kevät 1985	0,88	0,62	1,80	0,87	0,69	0,44	1,40	0,66	..	..	..	..
Kesä 1985	0,048	0,047	0,050	0,044	0,029	0,030	0,030	0,027	..	..	..	..
Syksy 1985	0,13	0,15	0,10	0,077	0,072	0,082	0,060	0,045	..	..	..	..

Käsittely: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

Va = vuodenaika; talvi kk:t 1, 2 ja 12, kevät kk:t 3 – 5, kesä kk:t 6 – 9, syksy kk:t 10 – 11.

.. = ei havaintoja

**LIITE 4 B. FOSFORIHUUHTOUTUMAT (P KG HA<sup>-1</sup> VUODENAIKA<sup>-1</sup>) SALAOJAVESISSÄ  
VUODENAJOITTAIN VUOSINA 1986 – 88.**

Käsittely Va	Kokonaisfosfori (kok. P)				Fosfaattifosfori (PO <sub>4</sub> -P)				Liuk.fosfaattifosfori (PO <sub>4</sub> -P)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Talvi 1985/86	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Kevät 1986	0,22	2,00	2,50	0,32	0,17	0,87	1,30	0,18	0,012	0,69	0,075	0,18
Kesä 1986	0,039	0,055	0,055	0,048	0,025	0,036	0,034	0,027	0,023	0,033	0,031	0,020
Syksy 1986	0,064	0,11	0,075	0,050	0,029	0,043	0,031	0,024	0,029	0,043	0,029	0,019
Talvi 1986/87	0,011	0,018	0,014	0,0082	0,0052	0,0093	0,0059	0,0043	0,0060	0,013	0,0062	0,0037
Kevät 1987	0,29	0,33	0,60	0,35	0,17	0,21	0,39	0,23	0,11	0,11	0,31	0,12
Kesä 1987	0,23	0,26	0,25	0,23	0,14	0,16	0,16	0,13	0,12	0,12	0,13	0,088
Syksy 1987	0,031	0,027	0,028	0,024	0,023	0,019	0,020	0,017	0,020	0,017	0,017	0,012
Talvi 1987/88	0,0045	0,0051	0,0044	0,0035	0,0040	0,0036	0,0034	0,0027	0,0036	0,0033	0,0030	0,0023
Kevät 1988	0,55	0,39	0,62	0,36	0,30	0,25	0,27	0,26	0,28	0,21	0,22	0,22
Kesä 1988	0,26	0,20	0,21	0,087	0,19	0,11	0,14	0,050	0,11	0,070	0,073	0,035
Syksy 1988	0,048	0,024	0,033	0,012	0,027	0,015	0,022	0,0076	0,012	0,0073	0,011	0,0050

Käsittely: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

Va = vuodenaika; talvi kk:t 1, 2 ja 12, kevät kk:t 3 – 5, kesä kk:t 6 – 9, syksy kk:t 10 – 11.

.. = ei havaintoja

**LIITE 5 A. TYYPPIHUUHTOUTUMAT (N KG HA<sup>-1</sup> VUODENAIKA<sup>-1</sup>) SALAOJAVESISSÄ  
VUODENAJOITTAIN VUOSINA 1983 – 85.**

Käsittely Va	Kokonaistyyppi (kok. N)				Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)				Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Talvi 1982/83	0,41	0,45	0,39	0,53	0,31	0,36	0,31	0,44	0,0020	0,0018	0,0018	0,0013
Kevät 1983	6,5	3,9	5,9	5,1	2,1	1,4	2,4	2,2	0,42	0,15	0,46	0,17
Kesä 1983	1,9	0,51	0,42	0,44	1,1	0,19	0,16	0,16	0,034	0,010	0,0076	0,0085
Syksy 1983	3,8	2,4	1,9	2,1	1,7	0,12	0,071	0,97	0,027	0,035	0,019	0,025
Talvi 1983/84	0,15	0,075	0,083	0,080	0,080	0,019	0,013	0,016	0,00077	0,00074	0,0014	0,00062
Kevät 1984	9,3	3,5	3,0	4,1	6,4	0,95	0,61	1,5	0,21	0,20	0,22	0,15
Kesä 1984	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Syksy 1984	3,0	5,6	1,7	1,7	1,3	1,7	0,45	0,34	0,017	0,57	0,010	0,14
Talvi 1984/85	0,036	0,037	0,019	0,017	0,022	0,024	0,020	0,0084	0,00031	0,00046	0,00024	0,00020
Kevät 1985	12	7,0	12	14	8,4	4,2	3,2	10	0,56	0,57	4,6	0,62
Kesä 1985	2,8	2,2	3,1	2,0	2,3	1,9	2,5	1,6	0,011	0,0076	0,011	0,0076
Syksy 1985	7,4	7,5	6,9	5,0	6,0	5,9	4,9	3,2	0,030	0,30	0,020	0,016

Käsittely: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

Va = vuodenaika; talvi kk:t 1, 2 ja 12, kevät kk:t 3 – 5, kesä kk:t 6 – 9, syksy kk:t 10 – 11.

.. = ei havaintoja

**LIITE 5 B. TYPPIHUUHTOUTUMAT (N KG HA<sup>-1</sup> VUODENAIKA<sup>-1</sup>) SALAOJAVESISSÄ  
VUODENAJOITTAIN VUOSINA 1986 – 88.**

Käsittely Va	Kokonaistyyppi (kok. N)				Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)				Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Talvi 1985/86	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Kevät 1986	6,6	27	25	7,0	4,9	8,6	4,9	5,6	0,20	8,8	11	0,30
Kesä 1983	2,9	3,0	3,1	1,5	2,2	2,2	2,3	0,82	0,0057	0,0079	0,0056	0,0082
Syksy 1986	4,8	10	4,5	3,7	3,8	8,9	3,9	3,0	0,018	0,055	0,019	0,015
Talvi 1986/87	0,99	2,7	1,1	0,71	0,82	2,4	0,90	0,56	0,0016	0,0046	0,0014	0,0016
Kevät 1987	9,7	9,9	7,1	7,1	7,3	8,1	3,8	4,8	0,077	0,091	0,93	0,086
Kesä 1987	6,6	5,4	5,6	4,2	3,5	2,4	2,5	1,7	0,014	0,014	0,015	0,027
Syksy 1987	0,56	0,44	0,44	0,30	0,18	0,098	0,10	0,050	0,00053	0,00047	0,00065	0,00042
Talvi 1987/88	0,10	0,087	0,080	0,062	0,51	0,042	0,043	0,031	0,00030	0,00035	0,00027	0,000084
Kevät 1988	6,0	4,4	5,1	3,2	4,0	2,5	3,2	1,5	0,23	0,15	0,17	0,14
Kesä 1988	1,5	1,4	1,4	0,80	0,018	0,024	0,039	0,017	0,11	0,094	0,074	0,048
Syksy 1988	0,90	0,62	0,68	0,34	0,014	0,041	0,048	0,029	0,0059	0,0031	0,003	0,0011

Käsittely: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

Va = vuodenaika; talvi kk:t 1, 2 ja 12, kevät kk:t 3 – 5, kesä kk:t 6 – 9, syksy kk:t 10 – 11.

.. = ei havaintoja

## LIITE 6/1

**LIITE 6A. KOKONAISFOSFORIN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETTUIJEN MITTAUSTEN VARIANSSITÄULUKKO.**

Vaihtelulähde	df	F	p	
<b>Tekijäin väliset (between subjects)</b>				
Käsittely	3	21,80	0,0061	**
Kontrastit: 1 vs 2	1	11,45	0,0277	*
1 vs 3	1	43,72	0,0027	**
1 vs 4	1	0,22	0,6634	ns
<b>Tekijäin sisäiset (within subjects)</b>				
Vuosi	4	28,67	0,0001	***
Vuosi * käsittely	12	14,23	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 2	4	15,82	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 3	4	24,39	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 4	4	0,37	0,6652	ns
Vuodenaika	1	421,32	0,0001	***
V-aika * käsittely	3	44,24	0,0016	**
V-aika * 1 vs 2	1	6,53	0,0629	ns
V-aika * 1 vs 3	1	97,76	0,0006	***
V-aika * 1 vs 4	1	0,01	0,9085	ns

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*, ns = ei merkitsevä \* = yhdysvaikutus. Vapausaste = df. V-aika = vuodenaika.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.



**LIITE 6B. KOKONAISFOSFORIN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETTUIJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO: LANNOITUS-KÄSITTELYT (1-4) JA NIIDEN KONTRASTIT VERTAILUKÄSITTELYYN (1) NÄHDEN.**

Aika <sup>1)</sup>	Käsittelyt <sup>2)</sup>		Kontrastit <sup>3)</sup>					
			1 vs 2		1 vs 3		1 vs 4	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Kev84	5,22	0,0722	8,07	0,0469*	14,05	0,0200*	7,19	0,0551
Syk84	6,49	0,0513	11,83	0,0263*	0,13	0,7388	0,01	0,9317
Kev85	70,38	0,0006***	0,47	0,5302	135,06	0,0003***	0,00	0,9905
Syk85	2,52	0,1967	1,29	0,3193	0,46	0,5359	2,31	0,2032
Kev86	17,39	0,0093**	21,22	0,0100**	32,71	0,0046**	0,06	0,8235
Syk86	6,28	0,0540	9,64	0,0360*	0,59	0,4837	1,15	0,3438
Kev87	13,75	0,0142*	0,52	0,5102	33,58	0,0044**	1,49	0,2895
Syk87	0,40	0,7602	0,37	0,5782	0,24	0,6531	1,19	0,3365
Kev88	0,81	0,5501	0,68	0,4548	0,13	0,7364	0,91	0,3949
Syk88	5,62	0,0643	7,13	0,0557	2,74	0,1731	15,78	0,0165*

<sup>1)</sup> Kev84 = kevät 1984, syk84 = syksy 1984 jne.

<sup>2) 3)</sup> Vapausasteet, df: <sup>2)</sup> df 3, <sup>3)</sup> df 1.

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

## LIITE 7/1

**LIITE 7A. FOSFAATTIFOSFORIN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETTUIJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO.**

Vaihtelulähde	df	F	p	
<b>Tekijäin väliset (between subjects)</b>				
Käsittely	3	14,85	0,0124	*
Kontrastit: 1 vs 2	1	3,18	0,1491	ns
1 vs 3	1	30,56	0,0052	**
1 vs 4	1	0,23	0,6597	ns
<b>Tekijäin sisäiset (within subjects)</b>				
Vuosi	4	19,13	0,0001	***
Vuosi * käsittely <sup>4)</sup>	12	8,10	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 2	4	4,22	0,0161	*
Vuosi * 1 vs 3	4	15,15	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 4	4	0,19	0,9422	ns
Vuodenaika	1	375,53	0,0001	***
V-aika * käsittely	3	38,85	0,0020	**
V-aika * 1 vs 2	1	1,23	0,3297	ns
V-aika * 1 vs 3	1	81,64	0,0008	***
V-aika * 1 vs 4	1	0,05	0,8392	ns

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*, ns = ei merkitsevä.

\* = yhdysvaikutus. Vapausaste = df. V-aika = vuodenaika.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

**LIITE 7B. FOSFAATTIFOSFORIN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETTUIJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO: LANNOITUSKÄSITTELYT (1-4) JA NIIDEN KONTRASTIT VERTAILUKÄSITTELYYN (1) NÄHDEN.**

Aika <sup>1)</sup>	Käsittely <sup>2)</sup>		Kontrastit <sup>3)</sup>					
			1 vs 2		1 vs 3		1 vs 4	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Kev84	3,67	0,1208	5,33	0,0821	9,40	0,0375*	6,37	0,0651
Syk84	9,41	0,0276*	15,96	0,0162*	0,44	0,5451	0,07	0,7995
Kev85	37,83	0,0021**	0,46	0,5364	70,12	0,0011**	0,06	0,8189
Syk85	1,33	0,3813	0,32	0,6013	0,30	0,6133	1,82	0,2484
Kev86	6,35	0,0530	4,86	0,0921	13,61	0,0219*	0,00	0,9880
Syk86	1,98	0,2587	3,14	0,1511	0,14	0,7244	0,32	0,6020
Kev87	12,77	0,0162*	1,28	0,3219	33,30	0,0045**	2,31	0,2033
Syk87	0,32	0,8127	0,40	0,5603	0,13	0,7368	0,88	0,4014
Kev88	0,53	0,6830	1,41	0,3009	0,55	0,4988	0,95	0,3848
Syk88	7,68	0,0389*	8,21	0,0457*	1,21	0,3329	19,82	0,0112*

<sup>1)</sup> Kev84 = kevät 1984, Syk84 = syksy 1984 jne.

<sup>2) 3)</sup> Vapausasteet, df: <sup>2)</sup> df 3, <sup>3)</sup> df 1.

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

## LIITE 8/1

**LIITE 8A. KOKONAISTYPEN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETUJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO.**

Vaihtelulähde	df	F	p	
<b>Tekijäin väliset (between subjects)</b>				
Käsittely	3	10,27	0,0238	*
Kontrastit: 1 vs 2	1	8,14	0,0463	ns
1 vs 3	1	1,67	0,2653	ns
1 vs 4	1	6,26	0,0666	ns
<b>Tekijäin sisäiset (within subjects)</b>				
Vuosi	4	84,66	0,0001	***
Vuosi * käsittely	12	16,21	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 2	4	33,56	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 3	4	20,63	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 4	4	1,24	0,3335	ns
Vuodenaika	1	408,58	0,0001	***
V-aika * käsittely	3	6,51	0,0510	ns
V-aika * 1 vs 2	1	0,10	0,7643	ns
V-aika * 1 vs 3	1	9,68	0,0358	*
V-aika * 1 vs 4	1	1,30	0,3180	ns

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*, ns ei merkitsevä.

\* = yhdysvaikutus. Vapausaste = df. V-aika = vuodenaika.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

**LIITE 8B. KOKONAISTYYPEN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETUJEN MITTAUSTEN VARIANSSITÄULUKKO: LANNOITUSKÄSITTELYT (1-4) JA NIIDEN KONTRASTIT VERTAILUKÄSITTELYYN (1) NÄHDEN.**

Aika <sup>1)</sup>	Käsittely <sup>2)</sup>		Kontrastit <sup>3)</sup>					
			1 vs 2		1 vs 3		1 vs 4	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Kev84	50,94	0,0012**	100,40	0,0006***	118,54	0,0004***	81,55	0,0008***
Syk84	11,79	0,0187*	12,18	0,0251*	2,79	0,1702	2,72	0,1742
Kev85	9,77	0,0259*	12,31	0,0247*	3,30	0,1435	0,29	0,6195
Syk85	2,90	0,1651	0,10	0,7635	0,19	0,6864	5,59	0,0772
Kev86	12,04	0,0180*	20,94	0,0102*	17,42	0,0140*	0,08	0,7939
Syk86	108,18	0,0003***	182,91	0,0002***	0,47	0,5296	5,93	0,0716
Kev87	8,81	0,0309*	0,07	0,8009	12,53	0,0240*	11,91	0,0260*
Syk87	6,85	0,0470*	4,57	0,0992	4,20	0,1099	20,49	0,0106*
Kev88	3,07	0,1535	2,81	0,1689	0,82	0,4166	8,55	0,0430*
Syk88	11,40	0,0198*	8,52	0,0433*	5,22	0,0844	33,62	0,0044**

<sup>1)</sup> Kev84 = kevät 1984, Syk84 = syksy 1984 jne.

<sup>2) 3)</sup> Vapausasteet, df: <sup>1)</sup> df 3, <sup>2)</sup> df 1.

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

## LIITE 9/1

**LIITE 9A. NITRAATTITYYPEN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN  
TOISTETTUIJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO.**

Vaihtelulähde	df	F	p	
<b>Tekijäin väliset (between subjects)</b>				
Käsittely	3	18,78	0,0081	**
Kontrastit: 1 vs 2	1	0,01	0,9199	ns
1 vs 3	1	34,31	0,0042	**
1 vs 4	1	22,52	0,0090	**
<b>Tekijäin sisäiset (within subjects)</b>				
Vuosi	4	226,10	0,0001	***
Vuosi * käsittely	12	22,64	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 2	4	54,57	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 3	4	13,80	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 4	4	8,21	0,0008	***
Vuodenaika	1	521,76	0,0001	***
V-aika * käsittely	3	35,74	0,0024	**
V-aika * 1 vs 2	1	55,25	0,0017	**
V-aika * 1 vs 3	1	91,61	0,0007	***
V-aika * 1 vs 4	1	13,13	0,0223	*

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*, ns ei merkitsevä.

\* = yhdysvaikutus. Vapausaste = df. V-aika = vuodenaika.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

**LIITE 9B. NITRAATTITYYPEN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETUJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO: LANNOITUSKÄSITTELYT (1-4) JA NIIDEN KONTRASTIT VERTAILUKÄSITTELYYN (1) NÄHDEN.**

Aika <sup>1)</sup>	Käsittelyt <sup>2)</sup>		Kontrastit <sup>3)</sup>					
			1 vs 2		1 vs 3		1 vs 4	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Kev84	35,08	0,0025**	70,46	0,0011**	79,42	0,0009***	58,08	0,0016**
Syk84	53,97	0,0011**	10,38	0,0322*	43,85	0,0027**	56,52	0,0017**
Kev85	23,36	0,0054**	21,79	0,0095**	48,26	0,0023**	0,05	0,8310
Syk85	2,34	0,2146	0,00	0,9722	0,03	0,8722	4,84	0,0925
Kev86	46,18	0,0015**	92,02	0,0007***	1,02	0,3695	3,37	0,1404
Syk86	51,70	0,0012**	92,55	0,0007***	0,04	0,8429	2,27	0,2061
Kev87	24,09	0,0051**	1,94	0,2359	35,69	0,0039**	17,91	0,0133*
Syk87	7,68	0,0390*	8,89	0,0407*	7,39	0,0531	22,51	0,0090**
Kev88	5,58	0,0651	5,66	0,0760	1,45	0,2944	15,30	0,0174*
Syk88	2,90	0,1654	5,00	0,0891	3,83	0,1221	7,58	0,0512

<sup>1)</sup> Kev84 = kevät 1984, syk84 = syksy 1984 jne.

<sup>2) 3)</sup> Vapausasteet, df: <sup>2)</sup> df 3, <sup>3)</sup> df 1.

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.



## LIITE 10/1

**LIITE 10A. AMMONIUMTYPEN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTO-  
TUMIEN TOISTETTujen MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO.**

Vaihtelulähde	df	F	p	
<b>Tekijäin väliset (between subjects)</b>				
Käsittely	3	13,77	0,0142	*
Kontrastit: 1 vs 2	1	10,76	0,0305	*
1 vs 3	1	28,54	0,0059	**
1 vs 4	1	0,00	0,9909	ns
<b>Tekijäin sisäiset (within subjects)</b>				
Vuosi	4	22,52	0,0001	***
Vuosi * käsittely	12	7,81	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 2	4	9,31	0,0004	***
Vuosi * 1 vs 3	4	13,45	0,0001	***
Vuosi * 1 vs 4	4	0,01	0,9999	ns
Vuodenaika	1	56,66	0,0017	**
V-aika * käsittely	3	16,24	0,0105	*
V-aika * 1 vs 2	1	8,98	0,0401	*
V-aika * 1 vs 3	1	35,60	0,0040	**
V-aika * 1 vs 4	1	0,00	0,9764	ns

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,05$ , ns ei merkitsevä.

\* = yhdysvaikutus. Vapausaste = df. V-aika = vuodenaika.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

**LIITE 10B. AMMONIUMTYPEN KEVÄT- JA SYKSYHUUHTOUTUMIEN TOISTETTUIJEN MITTAUSTEN VARIANSSITAUUKKO: LANNOITUS-KÄSITTELYT (1-4) JA NIIDEN KONTRASTIT VERTAILUKÄSITTELYYN (1) NÄHDEN.**

Aika <sup>1)</sup>	Käsittelyt <sup>2)</sup>		Kontrastit <sup>3)</sup>		1 vs 3		1 vs 4	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Kev84	1,19	0,4192	0,02	0,8994	0,04	0,8537	2,25	0,2084
Syk84	11,95	0,0183*	23,60	0,0083**	0,00	0,9544	0,00	0,9779
Kev85	183,54	0,0001***	1,76	0,2551	389,39	0,0001***	0,24	0,6510
Syk85	3,66	0,1210	6,98	0,0575	0,01	0,9384	0,01	0,9174
Kev86	7,96	0,0367*	9,58	0,0364*	14,32	0,0194*	0,00	0,9728
Syk86	5,87	0,0602	11,03	0,0294*	0,00	0,9681	0,10	0,7701
Kev87	848,56	0,0001***	0,45	0,5400	1727,48	0,0001***	0,20	0,6809
Syk87	0,59	0,6560	0,11	0,7621	0,43	0,5469	0,36	0,5817
Kev88	2,14	0,2374	4,09	0,1131	2,62	0,1807	5,40	0,0808
Syk88	22,18	0,0059**	22,99	0,0087**	23,36	0,0084**	65,34	0,0013**

<sup>1)</sup> Kev84 = kevät 1984, syk84 = syksy 1984 jne.

<sup>2) 3)</sup> Vapausasteet, df: <sup>2)</sup> df 3, <sup>3)</sup> df 1.

Merkitsevyystaso:  $p \leq 0,001$  \*\*\*,  $p \leq 0,01$  \*\*,  $p \leq 0,05$  \*.

Käsittelyt: 1 = vertailu, 2 = syyslevitys, 3 = talvilevitys, 4 = kevätlevitys.

## VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

68. Porvoonjoen kuormituselvitystyöryhmä; Lehtonen, Eija & Penttilä, Sirpa (toim.): Porvoonjoen kuormituselvitys. Helsinki 1991.
69. Mikkelin vesi- ja ympäristöpiiri: Mikkelin läänin vesien hoito 1990-luvulla. Helsinki 1991.
70. Louekari, Kimmo; Saarikoski, Heli & Joki-Kokko, Eeva: Kadmium ympäristössä. Helsinki 1991.
71. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Pohjanmaan vedet ja ympäristö. Helsinki 1991.
72. Freindling, Alexander & Heitto, Lauri: Primary production of inland waters. Helsinki 1991.
73. Pennanen, Jussi: Toutain Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen järjestelyn vaikutusalueella. Helsinki 1991.
74. Hildén, Mikael; Hakaste, Tapio; Korhonen, Pekka & Rahikainen, Eljas: Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen kalatalouden intressianalyysi. Helsinki 1991.
75. Ihme, Raimo; Heikkinen, Kaisa & Lakso, Esko: Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Helsinki 1991.
76. Pasanen, Jaana: Öljyisen maan ja jätteen mikrobiologinen puhdistus. Helsinki 1991.
77. Ihme, Raimo; Isotalo, Lauri; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvesuodatus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa.  
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä.  
Ihme, Raimo; Heikkinen Kaisa & Lakso, Esko: Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin. Helsinki 1991.
78. Rantala, Aulis (toim.): Vesistöjen kalkitus happamien sulfaattimaiden vaikutusalueella. Helsinki 1991.
79. Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnittelun työryhmä; Hynninen, Pekka (toim.): Kiiminkijoen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1991.
80. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri: Keski-Suomen kehittyvät vesivarat. Helsinki 1991.
81. Haapala, Kirsti & Eurén, Maija: Luonnonvesien ja jätevesien kiintoainemäärityksen ongelmista. Helsinki 1991.
82. Laine, Anne & Heikkinen, Kaisa: Turvetuotannon kalastovaikutukset. Helsinki 1991.
83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvässä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.  
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärvissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä.. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumpputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmeniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.

100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.
101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.
102. Sytyke 16. Sannholm, Gun & Söderström, Mirja: Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisussa. Helsinki 1992.
103. Sytyke 9. Raitio, Laura: Siistausprosessin ympäristökuormitus. Helsinki 1992.
104. Sytyke 17. Jantunen, Esko: Jätevesipäästötön paperitehdas. Helsinki 1992.
105. Sytyke 10. Lehtinen, K.-J. & Tana: Effects in mesocosms exposed to effluents from bleached hardwood kraft pulp mill. Helsinki 1992.
106. Hudd, Richard; Toivonen, Anna-Liisa & Wistbacka Ralf: Malax å fiskeriutredning. Helsinki 1992.
107. Rontu, Mika: Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Helsinki 1992.
108. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitti - Kansallisvesi. Helsinki 1992.
109. Sytyke 11. Junttila, Vesa: Sellutehtaan ympäristökuormitusten pienentäminen ja hallinta uudella tehdaslayoutilla. Helsinki 1992.
110. Sytyke 20. Kara, Mikko: Natrium- ja rikkitaseen säätömahdollisuuksia suomalaisessa sellutehtaassa. Helsinki 1992.
111. Kauppi, Marja: Repoveden alueen vesistöjen perusselvitys. Helsinki 1992.
112. Lindholm, Tapio (toim.): Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilta. Helsinki 1992.
113. Sytyke 2. Hatakka, Annele; Valo, Marjatta & Lankinen, Pauliina: Puunjalostusteollisuuden jätevesien käsittely valkolahosienillä ja niiden entsyymeillä. Helsinki 1992.
114. Sytyke 19. Krogerus, Mårten & Hynninen, Pertti: Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki 1992.
115. Hyvärinen, Pekka; Salojärvi, Kalervo; Pushkin, Sergei & Ahonen, Mikko: Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Helsinki 1992.
116. Ettala, Matti & Koskela, Juhani: Kloorifenolipitoisten pohjavesien käsittely aktiivihiihluodatuksella ja aktiivilietemenetelmällä. Helsinki 1992.
117. Sytyke 6. Myrén, Bertel: Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. Helsinki 1992.
118. Lyly, Olavi: Torjunta-aineiden käytön kannattavuus ja ympäristöhaittojen vähentäminen. Helsinki 1992.
119. Sytyke 21. Laxén, Torolf: Organosolvkeittot. Helsinki 1992.
120. Sytyke 4. Pere, J; Thun, R; Alén, R; Kyllönen, H & Viikari, L: Metsäteollisuuden jäteliitteet. Helsinki 1992.
121. Vesihuoltolaitokset 31.12.1990. Helsinki 1992.
122. Sytyke 14. Siitonen, Heikki; Wartiovaara, Jyrki & Kasanen, Pirkko: Sellu- ja paperitehdas-integraatin ympäristönsuojelutoimien hyötyjen ja haittojen arviointi - casetutkimus. Helsinki 1992.
123. Sytyke 22. Malinen, Raimo: Skenaarioanalyysi massan valmistuksen kehitysvaihtoehdoista. Helsinki 1992.
124. Sytyke 22A. Vasara, Petri: Skenaarioiden tuottaminen ja analyysi massanvalmistukselle Suomessa 1995 - 2010. Helsinki 1992.
125. Törrtö, Heli; Kaakinen, Eero & Alasaarela, Erkki: Ympäristövaikutusten arviointi aluehallinnossa - esimerkkinä Oulun lääni. Helsinki 1992.
126. Ekholm, Matti: Suomen vesistöalueet. Helsinki 1992.
127. Aura, Erkki; Puustinen, Markku; Virtanen, Seija; Mikkola, Hannu; Luoma, Tarmo & Peltomaa, Rauno: Salaoitusmenetelmien vertailu Zaitsevon kenttäkokeessa. Helsinki 1992.
128. Sytyke 15. Puustinen, Jukka: Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksissa.  
Sytyke 3. Lammi, Reino & Pakarinen, Kauko: Typpiravinnelisäyksen vaikutus sellutehtaan aktiivilietelaitoksen toimintaan. Helsinki 1993.
129. Seppälä, Jyri: Ympäristöriskianalyysi teollisuudessa. Helsinki 1992.
130. Sytyke 18. Pihlaja, Kalevi (koordinaattori): Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesien orgaanisen aineen hajoaminen ja ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
131. Lax, Hans-Göran; Koskenniemi, Esa; Sevola, Pertti & Bagge, Pauli: Tenojoen pohjaeläimistö ympäristön laadun kuvaajana. Helsinki 1993.

132. Sytyke 5. Välttilä, Olli: Biolietteen poltto.  
Sytyke 12. Kauppinen, Jyrki: Metsäteollisuuden hajuaineiden analytiikka ja seuranta. Helsinki 1993.
133. Sytyke 10A. Lehtinen, K-J: Ecological impact of pulp mill effluents. Helsinki 1993.
134. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Operatiivinen ajelehtimis- ja kulkeutumismalli merialueille. Helsinki 1993.
135. Nystén, Taina: Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki 1993.
136. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki 1993.
137. Ullvén, Johanna: Simpukoiden soveltuvuudesta kloorifenolien tutkimiseen murtovedessä. Helsinki 1993.
138. Peura, Pekka: Happamoituminen Merenkurkun pienissä järvissä.  
Peura, Pekka: Försuming av småsjöarna i Norra Kvarken. Helsinki 1993
139. Huttunen, Leena & Soveri, Jouko: Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1993.
140. Kaatra, Kai & Marttunen, Mika (toim.): Oulujoen vesistön säännöstelyjen kehittämisselvitykset. Helsinki 1993.
141. Suomela, Tapani: Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Helsinki 1993.
142. Kauppi, Lea (toim.): Itäisen Suomenlahden lintukuolemat keväällä 1992. Helsinki 1993.
143. Lahti, Kirsti; Lepistö, Liisa; Niemi, Jorma & Färdig, Michael: Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Helsinki 1993.
144. Koskimies, Pertti: Population sizes and recent trends of breeding birds in the nordic countries. Helsinki 1993.
145. Alasaarela, Erkki; Hellsten, Seppo; Keränen, Reijo; Kurttila, Terttu & Riihimäki, Juha: Säännöstelyjen järvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Helsinki 1993.
146. Korkka-Niemi, Kirsti; Sipilä, Annika; Hatva, Tuomo; Hiisvirta, Leena; Lahti, Kirsti & Alftan, Georg: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Helsinki 1993.
147. Ruonala, Seppo (toim.): SYTYKE-ohjelman projektien yhteenvedot. Helsinki 1993.
148. Ruonala, Seppo (red.): Sammandrag av projekten i programmet SYTYKE. Helsinki 1993.
149. Ruonala, Seppo (ed.): Summaries of SYTYKE-projects. Helsinki 1993.





ISBN 951-47-7563-5  
ISSN 0786-9592